IMPIEGO PRATICO DELL'OSCILLOSCOPIO

Circuiti e comandi con numerosi esempi ed esercizi

Chet Heyberger
Marshall E. Prior

Traduzione ed estensione del testo a cura di
Franco Simonini

IMPIEGO PRATICO DELL'OSCILLOSCOPIO

Circuiti e comandi con numerosi esempi ed esercizi

di
CHET HEYBERGER
MARSHALL E. PRIOR

Traduzione ed estensione del testo
a cura di **Franco Simonini**

GRUPPO
EDITORIALE
JACKSON
Via Rosellini, 12
20124 Milano

INTRODUZIONE

Immaginate, cari lettori, di potere osservare da vicino, non visti, un progettista elettrotecnico mentre è impegnato ad affinare un progetto oppure un tecnico di manutenzione alle prese con un difetto di funzionamento mai riscontrato fino allora; ebbene, voi li vedrete gettarsi letteralmente sull'oscilloscopio, inserire i cavi di connessione e mettersi a ruotare i commutatori ed inserire i comandi dello strumento senza neppure avere dato prima almeno un'occhiata alle diciture del pannello frontale.

Per questi tecnici l'oscilloscopio è in pratica l'attrezzo, lo strumento più importante per il lavoro di tutti i giorni, ma la loro attenzione, le loro teste, sono di fatto polarizzate sulla possibile soluzione dei rispettivi problemi al punto di trascurare anche solo un rapido esame delle caratteristiche di lavoro e delle prestazioni dell'oscilloscopio messo a loro disposizione.

Ma perchè un tecnico possa lavorare con buon rendimento, è necessario che le misure con l'oscilloscopio divengano una sua seconda natura ed, a questo fine, è indispensabile impegnarsi ad acquisire una serie di nozioni sull'oscilloscopio, sia su come funziona, sia su come può venire utilizzato.

A prima vista questo sembrerà forse uno studio troppo impegnativo ma va considerato che potrà dimezzare addirittura l'impegno del tecnico nelle misure ed aumentare sensibilmente il suo rendimento nel lavoro.

La stesura di questo testo, d'altra parte, è stata curata in modo che il maggior numero di persone, con un minimo di cultura tecnica di base, possa imparare, circa gli oscilloscopi e le misure con gli oscilloscopi, quanto basta per impiegare questi strumenti di misura rapidamente e con tutta facilità e precisione.

Il testo è suddiviso in due parti:

- Nei primi quattro capitoli della prima parte vengono descritte le parti in cui si può considerare suddiviso un oscilloscopio, la loro funzione ed i comandi relativi.
- La seconda parte permette di mettere a frutto la conoscenza e la pratica acquisite nella prima parte del testo. I segnali visualizzati sullo schermo dell'oscilloscopio vengono infatti identificati come forme d'onda e si tratta dei termini con cui gli elementi che compongono le forme d'onda possono venire definiti.

I due capitoli seguenti trattano delle norme di sicurezza e delle procedure base da seguire per la messa in funzione dell'oscilloscopio.

Con il capitolo 9 invece si descrivono le tecniche di misura; vari esercizi permettono di fare pratica sulle misure base ed alcuni esempi, riferiti alle tecniche più aggiornate, aiutano il lettore a realizzare le misure caso per caso più convenienti ed accurate.

L'ultimo capitolo tratta in dettaglio delle prestazioni che possono caratterizzare gli oscilloscopi e della relativa importanza sulle misure.

Conviene, se possibile, tenere davanti agli occhi ed a portata di mano un oscilloscopio, mentre si scorrono i vari capitoli del testo; sarà il modo migliore, sia per apprendere queste nuove cognizioni che per metterle subito in pratica.

I concetti fondamentali esposti nel testo possono venire riferiti a qualsiasi tipo di oscilloscopio, ma esercizi e figure si rifanno invece a due oscilloscopi di tipo portatile della TEKTRONIX: i modelli 2213 e 2215.

Il 2213 è un oscilloscopio a due canali con banda di lavoro di 60 MHz; è di tipo portatile ed è stato previsto per scopi generali e per rendere agevole l'impiego ed il trasporto.

Il 2215 è un oscilloscopio di pari caratteristiche rispetto al 2213, quanto a canali e banda di lavoro, ma con doppio asse tempi e con più prestazioni; esso è stato introdotto nel testo per iniziare il lettore alle tecniche tipiche del doppio asse-tempi e delle possibilità che esso offre.

Se il lettore avrà commenti da fare o domande e problemi da porre circa quanto qui esposto non esiti a scrivere a:

- CHET HEYBERGER responsabile delle informazioni tecniche degli oscilloscopi portatili.
- MARSHALL E. PRIOR responsabile di mercato della linea di produzione della Serie TEKTRONIX 2200.

presso la TEKTRONIX Inc. P.O. Box 500 - Beaverton OR 97077 - USA -

SOMMARIO

PREFAZIONE

Note introduttive a cura del traduttore ed estensore del testo

L'oscilloscopio viene comunemente considerato, e per validi motivi, lo strumento principale per ottenere una vasta gamma di misure; misure che è possibile realizzare, soprattutto, in modo pratico e rapido. Giustamente gli autori di questo testo fanno notare che chi impiega un oscilloscopio dispone in pratica contemporaneamente di vari sistemi di misura concentrati, per di più, in un unico banco di lavoro e con un'unica semplice disposizione di pochi terminali di misura.

Con tutto ciò l'oscilloscopio comporta però una tipica difficoltà: richiede la regolazione attenta di circa venti o trenta comandi che l'operatore deve conoscere a fondo e maneggiare con cura interpretando, caso per caso, le tracce luminose che compaiono sullo schermo.

Non è difficile comunque apprendere le nozioni fondamentali e le regole pratiche necessarie all'impiego dell'oscilloscopio; con un minimo di teoria, con l'esercizio del buon senso e l'esperienza che viene dal lavoro, anche un tecnico elettronico di modesto livello può utilizzare le possibilità offerte da un moderno oscilloscopio e ricavarne notevoli vantaggi per il proprio lavoro.

La tecnica degli oscilloscopi non richiede infatti all'operatore un grosso bagaglio di cultura generale; in sostanza occorre acquisire solo delle semplici considerazioni teorico pratiche, spesso di tipo intuitivo, che debbono però venire riferite in modo piano ed alla portata di tutti.

Questo è quanto hanno fatto, e meritano riconoscenza, gli autori di questo testo che ha il merito di esporre in modo stringato, essenziale e veramente pratico le nozioni base ed i consigli, caso per caso, più oppurtuni all'impiego di quei venti o trenta comandi che comporta l'oscilloscopio.

Naturalmente gli autori non hanno trattato TUTTI gli oscilloscopi ma si sono limitati ai modelli destinati alle forme d'onda periodiche o ripetitive; questi tipi di strumenti, con una banda di lavoro di 60 MHz come quella appunto qui considerata, risolvono d'altra parte almeno il settanta per cento dei problemi che assillano il tecnico elettronico e la quasi totalità di quelli che riguardano le radioteleriparazioni, l'Hi-Fi, ed i vari interventi di riparazione esterna "on field", cioè "sul posto", con sensibile risparmio di tempo e danaro. C'è da augurarsi che, in seguito, gli autori pubblichino anche un testo sugli oscilloscopi a memoria e campionatori.

Al momento possiamo intanto congratularci con loro che hanno dimostrato di conoscere molto bene la materia poichè solo chi è dotato di un'ottima cultura teorico-pratica decantata in un'attività professionale può permettersi una sintesi di esposizione così efficace come quella condotta in questo testo.

In questa edizione in lingua italiana abbiamo ritenuto opportuno comunque aggiungere inizialmente qualche nozione base sulla tecnica dei tubi a raggi catodici ed, in appendice, una classificazione dei vari tipi di oscilloscopi.

Sempre in appendice una serie di esercizi pratici risolti, tratti per lo più dai manuali di istruzione della TEKTRONIX, contribuisce, riteniamo, in modo efficace, ad inquadrare le possibili applicazioni della tecnica oscilloscopica.

Ricordiamo, infine che, se gli autori si sono riferiti, nel testo, agli oscilloscopi modello TEK 2213 e 2215, quanto è stato esposto vale pure per la maggior parte degli oscilloscopi del mercato che ormai da tempo sono unificati come comandi e relative diciture. Ciò vale in particolare per una serie di oscilloscopi da 50-60 MHz di banda attualmente presenti sul mercato italiano tra i quali citiamo il modello VP 5250 della NATIONAL, il PM 3217 della PHILIPS e l'OS 3500 della GOULD-ADVANCE.

NOZIONI FONDAMENTALI CIRCA I TUBI A RAGGI CATODICI

CENNI STORICI

A seguito della scoperta dell'elettricità e delle leggi che governano i campi elettrici, magnetici e le correnti elettriche, si è tentato molto presto, fin dalla fine dell'800, di realizzare dei dispositivi che permettessero di rilevare direttamente l'andamento delle grandezze elettriche alternate.

Il grosso scoglio in questi esperimenti consisteva nell'inerzia dell'equipaggio mobile e nella necessità di smorzarne il movimento in modo da permettere una riproduzione sufficientemente fedele dell'andamento della corrente senza alterazioni da "overshoot" ed "undershoot".

Per lo più ci si valeva di minuscoli specchietti immersi in un campo magnetico e sospesi a fili o spire di materiale conduttore dell'elettricità; essi vennero detti "galvanometri a vibrazio-

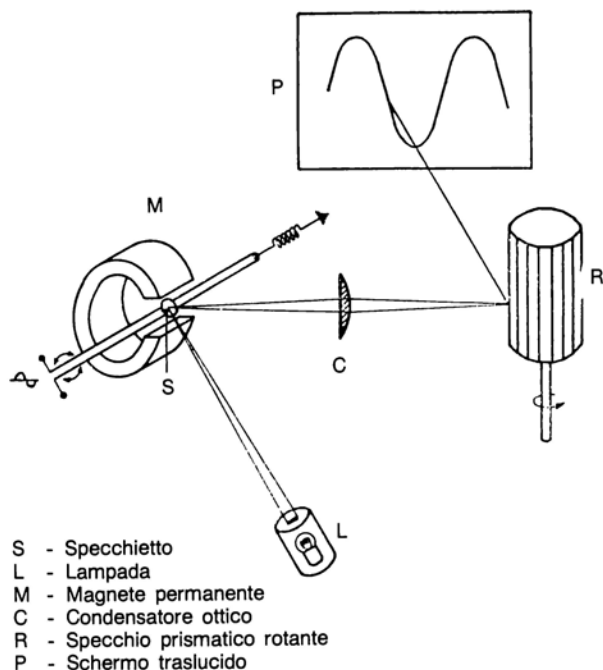



Figura I

È qui illustrato lo schema del funzionamento di un "oscilloscopio a vibrazione". La corrente alternata da rilevare scorre in una spira costituita da due sottilissimi fili condutori disposti tra le espansioni polari di un magnete permanente.
Le forze elettrodinamiche che ne nascono fanno vibrare i due conduttori della spira ed uno specchietto ad essi solidale. Una lampada invia un fascio di luce verso lo specchietto che a sua volta lo riflette verso una lente ed uno specchio prismatico ruotante che provoca la scansione della macchia luminosa su di uno schermo traslucido.
Questo tipo di oscilloscopio, realizzato nei primi anni del 1900, non ha permesso di superare i 5000 Hz di massima frequenza analizzata.

Figura II

Rappresentazione schematica dei componenti fondamentali di un tubo a raggi catodici con i terminali dei relativi elettrodi. Come nel tubo elettronico si utilizza un filamento (F,F), che riscalda un catodo (K). Gli elettroni emessi per effetto termoelettrico vengono controllati da una griglia (G), e successivamente accelerati da due anodi A2 ed A3 che provvedono a focalizzarli su di uno schermo.
Due coppie di placchette metalliche Py e Px provvedono alla deflessione, rispettivamente in senso verticale ed orizzontale, del sottile fascio di elettroni.

ne" in quanto le vibrazioni di uno specchietto permettevano, riflettendo un raggio di luce su di uno schermo, di misurare l'ampiezza dell'andamento alternato della corrente elettrica in esame.

Uno dei primi galvanometri fu realizzato dal Blondel nel 1891; seguirono altri tentativi ad opera del Duddel nel 1893 e di Einthoven nel 1901. Si trattava di strumenti delicatissimi e di difficile messa a punto che non superavano però il limite dei 1000 Hz. Al solito l'inerzia del sistema e la necessità di tenersi lontani dalla frequenza di risonanza dell'equipaggio mobile riducevano drasticamente le prestazioni.

Per potere analizzare anche la forma d'onda di una grandezza, e non solo la sua ampiezza massima occorreva inoltre, che la sua rivelazione venisse "correlata al tempo".

E il tempo fu introdotto nei primi anni del 1900 con uno "specchio prismatico ruotante" (vedi figura I), che, ruotando appunto con una frequenza pari o multipla di quella in esame permetteva l'analisi della forma d'onda su di uno schermo traslucido.

Questo dispositivo comunque, con tutti i perfezionamenti che fu possibile apportare, non permise mai di superare i 5.000 Hz di massima frequenza analizzata.

Molto più interessanti sembravano invece le possibilità dei tubi a raggi catodici che potevano emettere una corrente di particelle negative (che furono chiamate "electron" da John stone - Stoney nel 1890); questa corrente veniva deviata dai campi magnetici ed elettrici senza alcuna apparente inerzia data la ridottissima massa degli elettroni. Le prime misure con un tubo a raggi catodici furono realizzate nel 1897 da Braun; i successivi perfezionamenti, specie di natura tecnologica, negli anni 1960 e '70, hanno portato oggi alla realizzazione di tubi a raggi catodici capaci di prestazioni eccezionali per tutta una gamma, sempre più vasta, di misure.

COME È FATTO E COME FUNZIONA IL TUBO A RAGGI CATODICI

Il tubo a raggi catodici è il componente fondamentale dell'oscilloscopio; ad esso spetta infatti il compito di trasformare i segnali elettrici applicati ai suoi elettrodi in una o anche più tracce luminose su di uno schermo piano.

Ogni tubo a raggi catodici è composto essenzialmente di tre parti fondamentali:

— un insieme di elettrodi, che costituiscono il cosiddetto "cannone elettronico" ("electronic gun" in gergo tecnico inglese), che produce e focalizza un sottile "pennello di elettroni" (vedi figura II)

— un sistema di deflessione, che viene realizzato (vedi figura II), con due coppie di elettrodi detti "placchette di deflessione", Py e Px in figura, che, per azione elettrostatica, provvedono a deviare il "pennello" di elettroni.

— un'ampolla di vetro speciale di alta resistenza che contiene e blocca meccanicamente gli elettrodi fin qui considerati ai punti precedenti.

Da un lato questa ampolla termina in uno zoccolo a più piedini, come un tubo elettronico, mentre dal lato opposto,

dopo un'espansione tronco conica, presenta lo "schermo"; questo è costituito da una sottile pellicola di sostanza fluorescente detta "fosforo" che viene stesa uniformemente sulla superficie interna e precisamente sulla base tronco-conica dell'ampolla di vetro.

È su questo schermo che vanno ad urtare gli elettroni prodotti e focalizzati dal "cannone elettronico"; se le "placchette di deflessione" sono a potenziale zero il "pennello elettronico" non viene deviato dal suo percorso rettilineo ed esso va a colpire il centro dello schermo producendo un puntino luminoso (spot). Se invece le placchette Py e Px vengono opportunamente alimentate con dei segnali di andamento variabile nel tempo, la traiettoria degli elettroni viene modificata ed essi vengono ad incontrare di continuo una "traccia" ben definita sullo schermo; questa, con la sua luminosità da fluorescenza, permette così l'osservazione di una figura, una rappresentazione nel piano cartesiano, che può permettere di studiare l'andamento di una grandezza elettrica (tensione o corrente).

Se si impiegano appositi "trasduttori", si possono però trasformare altre grandezze (ad esempio meccaniche), in grandezze elettriche che, se rivelate dal tubo a raggi catodici, consentiranno così lo studio appunto di vibrazioni, deformazioni ecc.

IL CANNONE ELETTRONICO

Come si può rilevare dalla figura II, esso è costituito da una serie di elettrodi (K, G, A2, A3), disposti l'uno dopo l'altro lungo il percorso degli elettroni.

Dal punto di vista funzionale il tubo a raggi catodici presenta delle analogie con il tubo elettronico. Entrambi operano infatti anzitutto come "tubi a vuoto" poichè, per permettere il libero percorso degli elettroni, in essi, nelle rispettive ampolle di vetro, viene praticato un vuoto spinto con una pressione residua dell'ordine di 10^{-7} mm. di mercurio.

Entrambi operano poi con un filamento F, un catodo K emettitore di elettroni ed una griglia G che regola il flusso di elettroni; elettroni che vengono poi accelerati da un anodo operante a tensione positiva. Con l'anodo termina però l'analogia; il tubo a raggi catodici di anodi ne possiede infatti due operanti a tensioni diverse (vedi figura III), e forati internamente in modo da permettere il passaggio del flusso di elettroni.

Per effetto delle tensioni diverse a cui operano A2 ed A3 si ha una azione elettrostatica che, in pratica, consente la "focalizzazione" del pennello elettronico (vedi figura IV), e cioè la concentrazione sullo schermo in una piccola area ben definita al fine di provocare un punto luminoso altrettanto ben definito e senza aloni.

La focalizzazione viene graduata, in pratica, regolando con un potenziometro la tensione che alimenta A2, mentre con un altro analogo partitore, regolando la tensione di G, si varia a piacere l'intensità del fascetto di elettroni e, per conseguenza, la maggiore o minore intensità luminosa della traccia sullo schermo.

Poichè i due elettrodi G ed A2 possono interagire elettrostaticamente fra loro, nel senso che una regolazione di G può alterare la focalizzazione ottenuta con la polarizzazione di A2, si rimedia interponendo fra i due un altro elettrodo acceleratore A1 a potenziale fisso (vedi figura III).

Per un analogo motivo l'alimentazione del tubo a raggi catodici (vedi sempre figura III), prevede che la massima tensione positiva venga collegata alla massa dell'oscilloscopio. L'elettrodo A3 infatti è situato vicino alle placchette di deflessione Py e Px e potrebbe influenzarle elettrostaticamente dato che esse, in condizioni di riposo, si trovano a potenziale zero e cioè al potenziale della terra del sistema.

Sempre per lo stesso motivo anche il rivestimento conduttore che ricopre la parete interna del tratto tronco conico dell'ampolla di vetro del tubo a raggi catodici (vedi figura III), viene collegato a massa e cioè alla massima tensione positiva di alimentazione che può arrivare a qualche migliaio di Volt.

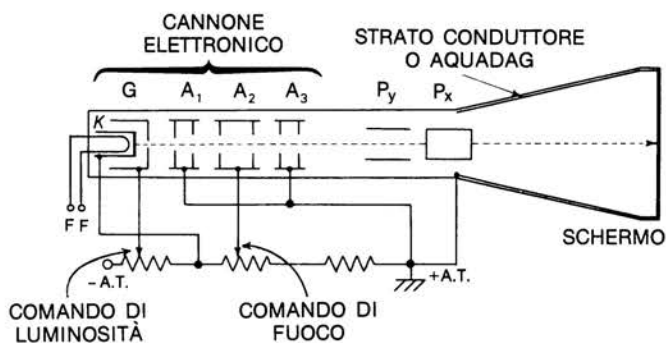



Figura III

Schema semplificato di un tubo a raggi catodici e della alimentazione del suo "cannone elettronico".
Come si può notare le varie tensioni di alimentazione sono ottenute con un partitore che consente, tra l'altro, di polarizzare negativamente la griglia G rispetto al catodo K.

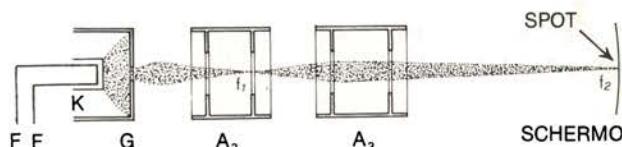



Figura IV

Ecco come avviene la focalizzazione del fascetto di elettroni tramite il campo elettrico che si forma tra i due anodi A2 ed A3. Questi elettrodi, come si può notare dalla figura che li mostra in sezione, sono dotati di setti forati che hanno il compito di contcollare la regolarità del pennello elettronico eliminando tra l'altro gli elettroni che divergessero dalla traiettoria lineare.

In questo modo non si influenza al solito l'azione delle placchette di deflessione e si "scherma" il pennello elettronico, dopo la deflessione, dall'azione di altri eventuali campi elettrostatici esterni al tubo.

Per di più questo rivestimento conduttore detto "Aquadag" permette di catturare gli elettroni di "emissione secondaria" che si liberano all'atto dell'impatto del pennello elettronico sulla superficie dello schermo fluorescente.

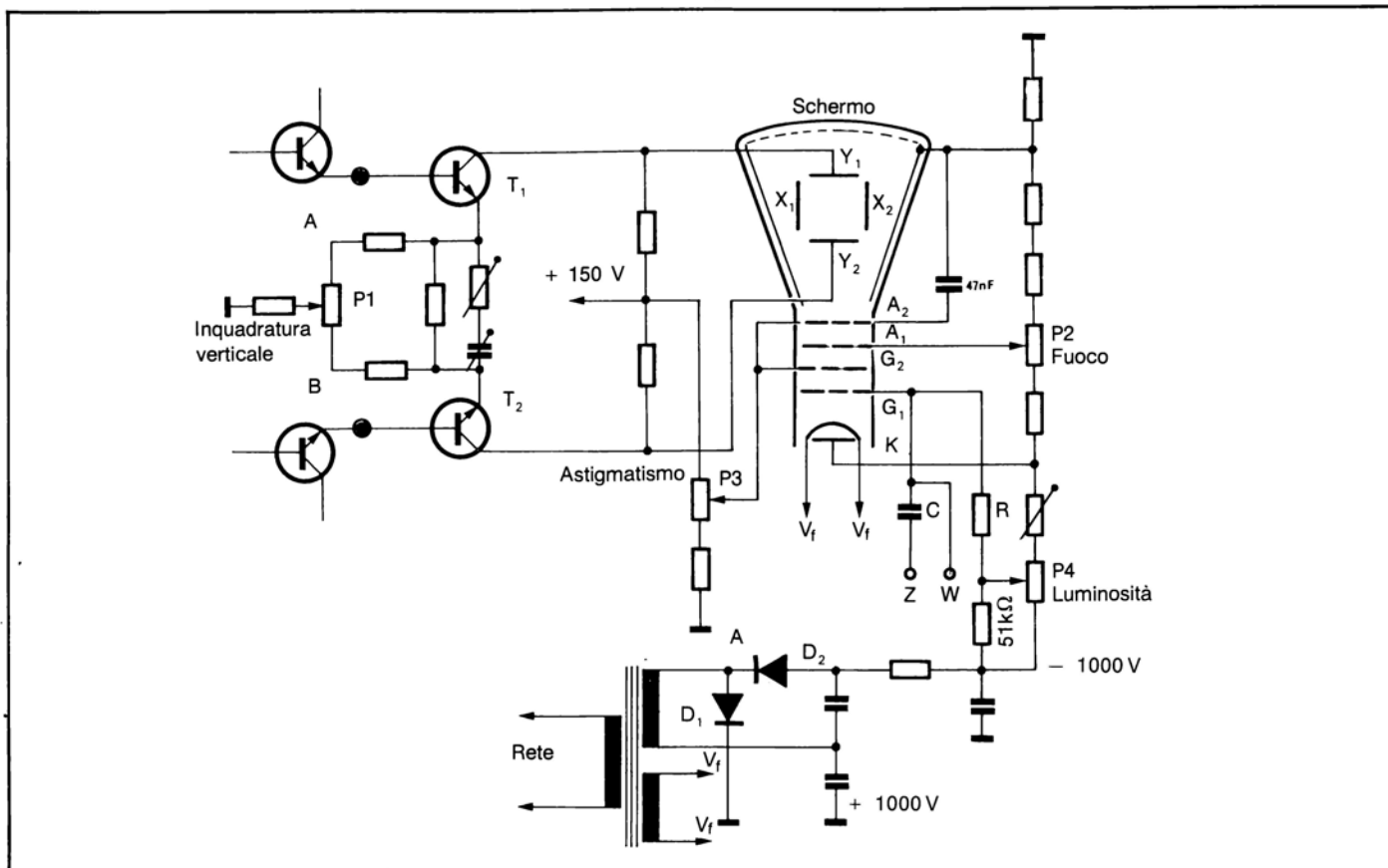



Figura V

Lo schema di principio indicato in figura mostra come è possibile alimentare, con uno stadio di amplificazione in controfase, le placchette di comando Py per la deflessione verticale. Analogamente si procede per le placchette Px. È riportato pure lo schema di alimentazione del tubo a raggi catodici con i comandi di luminosità, fuoco ed astigmatismo.
Il comando di polarizzazione dello stadio amplificatore verticale può venire utilizzato per regolare in senso verticale la posizione della traccia sullo schermo in quanto, comandando le correnti nello stadio finale, varia anche la tensione di alimentazione sui collettori dei transistori dello stadio.

IL SISTEMA DI DEFLESSIONE

Come si è visto è costituito da due coppie di "placchette di deflessione":

- una coppia disposta orizzontalmente, Py, comanda lo spostamento in senso verticale del pennello elettronico
- l'altra coppia, Px, successiva lungo il percorso degli elettroni e disposta verticalmente, comanda lo spostamento in senso orizzontale degli elettroni del fascetto.

Entrambe queste coppie di placchette vanno alimentate con tensioni di deflessione operanti in controfase e cioè simmetriche rispetto a terra (vedi figura V); se infatti si pilotasse la deflessione della Py con un segnale asimmetrico (collegando a terra una delle placchette ed alimentando l'altra con la tensione alternata), si creerebbe un campo elettrico con direzione assiale e questo provocherebbe una variazione della sensibilità di deflessione in funzione della tensione stessa di deflessione applicata alle placchette.

La forma d'onda riprodotta sullo schermo ne resterebbe quindi alterata.

Analogamente, se si collega a terra una delle Px, la deflessione comandata dal segnale a dente di sega dell'asse-tempi dell'oscilloscopio risulta egualmente alterata.

Queste due deformazioni, in senso verticale ed orizzontale, causano quindi una deformazione complessiva, una "Distorsione" cosiddetta "Trapezoidale".

Per di più un potenziale di terra applicato alle placchette provocherebbe pure una deformazione nelle dimensioni dell'aureola luminosa provocata, sullo schermo, dall'urto degli elettroni. Si genererebbe quindi un difetto di visione che, per analogia con i fenomeni ottici, viene detto "Astigmatismo".

Il pennello elettronico infatti, se ben focalizzato, provoca un'area ben delimitata di impatto ma, come mostra la figura IV, è di discrete dimensioni trasversali e quindi risente dell'andamento dei campi elettrici disuniformi che si possono venire a creare entro il tubo. Proprio per questo motivo, come indicano le figure II, III e VII, tutti gli elettrodi del "cannone elettronico" e lo stesso "Aquadag" sono di forma circolare; sono cioè a "simmetria cilindrica" in modo da influenzare, in ogni direzione, il percorso degli elettroni.

Come indicato in figura V per la deflessione verticale il rime-

dio alla "Distorsione trapezoidale" ed all'"Astigmatismo" è presto trovato. Basta impiegare degli stadi amplificatori in controfase per il pilotaggio della deflessione.

LO SCHERMO DEL TUBO A RAGGI CATODICI

Come si è già detto una sottile pellicola di materiale fosforescente riveste dal lato interno la parte terminale dell'ampolla. Quando gli elettroni colpiscono questa superficie si verificano due fenomeni fisici egualmente importanti:

- la formazione di una luminescenza nel punto di impatto per effetto della eccitazione delle sostanze fosforescenti dello schermo (dette appunto "fosfori").
- la generazione di raggi X a causa dell'eccitazione degli atomi che compongono le molecole dei materiali (fosfori e soprattutto il vetro), dello schermo.
  Per limitare la propagazione dei raggi X fuori dal tubo a raggi catodici si fa uso di speciali vetri cosiddetti "al piombo" che si presentano come sensibilmente opachi alle radiazioni X.
  Al riguardo gli oscilloscopi sono soggetti a severe normative internazionali che stabiliscono il massimo di emissione X che può essere ammessa immediatamente al di fuori delle loro carcasse metalliche e dello schermo del tubo a raggi catodici.

Seguendo, praticamente senza inerzia, la deflessione, gli elettroni del pennello elettronico percorrono continuamente lo schermo del tubo lungo la traccia luminosa che vi compare.

Ma perchè questa visione si presenti in modo stabile occorre che si abbia una certa "persistenza" della fosforescenza sullo schermo; in pratica è necessario che durante il tempo necessario a due passaggi del pennello sullo schermo la luminosità resti praticamente invariata.

I "fosfori" impiegati per gli schermi dei tubi comportano in pratica una propria "persistenza" che viene definita come il tempo impiegato perchè la luce emessa decada al 10% del valore iniziale.

A seconda delle sostanze fosforescenti adottate per la realizzazione degli schermi si hanno, sia diverse colorazioni della luce emessa (dal bianco, al giallo-verde, all'azzurro), sia diverse persistenze della luce sullo schermo.

Queste diverse persistenze ("bassa" se il tempo di decadimento è di $10^{-5} \div 10^{-6}$ secondi, "media" se è di $10^{-1} \div 10^{-3}$ secondi ed "alta" se è da un decimo di secondo a qualche secondo), vengono scelte ovviamente a seconda delle velocità di scansione e quindi delle frequenze più o meno alte cui è destinato l'oscilloscopio.

In particolare, se i fenomeni da esaminare sono di notevole periodo o tempo di ripetizione, sarà necessario un'alta persistenza delle tracce sullo schermo; al contrario, se si effettua la ripresa fotografica o cinematografica delle tracce, il tempo di persistenza dovrà essere ridottissimo.

In pratica, per la maggior parte delle applicazioni, viene impiegato un fosforo a persistenza medio-corta (contrassegnato con la sigla europea GH o americana P 31); esso presenta una notevole luminosità di colore giallo-verde (colore questo che consente la massima sensibilità per l'occhio umano), e per di più possiede una elevata resistenza alla "bruciatura"; alla per-

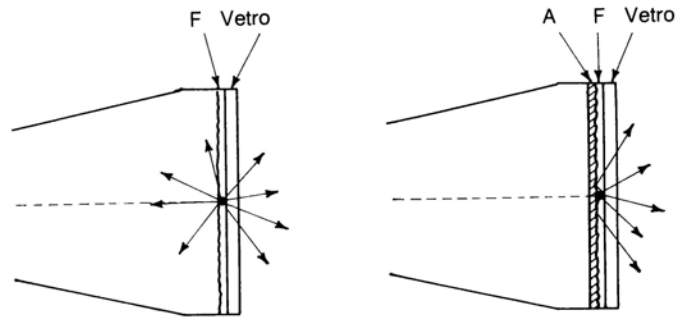



Figura VI
La metallizzazione dello schermo di un tubo a raggi catodici può migliorare sensibilmente il risalto ed il contrasto con cui viene visualizzata la traccia.
Il sottilissimo strato di alluminio (A) che viene depositato sul fosforo (F) riflette infatti la luce che diversamente si diffonderebbe verso l'interno del tubo. La figura schematica di sinistra mostra un tubo senza la cosiddetta "alluminazione" e quella di destra l'effetto riflettente di questo strato metallico che è, in pratica, tanto sottile da non opporre resistenza al passaggio degli elettroni verso il fosforo dello schermo.

dita cioè di luminosità per effetto del surriscaldamento locale di un punto dello schermo quando questo venga continuamente eccitato.

Gli schermi dei tubi vengono spesso sottoposti a "metallizzazione"; un sottilissimo strato di alluminio (tanto sottile da non impedire il passaggio degli elettroni), viene cioè depositato sui fosfori dello schermo come indicato in figura VI.

Questo schermo metallico riflette in pratica la luce che i fosfori invierebbero diversamente verso l'interno del tubo; la visione della traccia risalta così molto meglio con maggiore contrasto.

LA POST ACCELERAZIONE

Le migliorie continuamente apportate ai circuiti dell'oscilloscopio hanno permesso progressivamente, specie negli anni 1960 e '70, la visione di forme d'onda di frequenza sempre più elevata e di andamento sempre più complesso spesso con transizioni estremamente rapide e tempi di salita, conseguentemente, di qualche nanosecondo solamente.

Ma più rapido diviene il percorso del pennello elettronico sulla traccia e meno luminosa purtroppo risulta la traccia stessa, proprio perchè viene a ridursi drasticamente il tempo di eccitazione del fosforo dello schermo.

Più aumentava quindi la banda di lavoro dell'oscilloscopio e più luminoso doveva diventare il tubo a raggi catodici.

Un miglioramento di luminosità poteva venire ottenuto aumentando la tensione dell'elettrodo A3 (vedi figura III), e per conseguenza la velocità e quindi l'energia cinetica di urto degli elettroni del fascetto contro i fosfori del tubo; ma ad ogni aumento di velocità degli elettroni corrisponde una minore sensibilità del sistema di deflessione costituito dalle due coppie di placchette Py Px. Più veloci divenivano gli elettroni e maggiori,

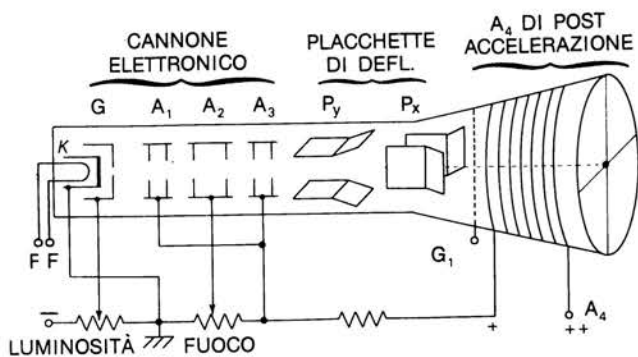



Figura VII

Rappresentazione schematica di un tubo a raggi catodici dotati di anodo supplementare di post accelerazione. Esso è di andamento spiraliforme ed è costituito da un sottile strato resistivo di 50 ÷ 500 Mohm di resistenza complessiva.

ovviamente, dovevano divenire le tensioni di deflessione applicate alle placchette.

Queste due esigenze contrastanti hanno portato così ad una innovazione tecnologica: il tubo a raggi catodici con "Tensione di post accelerazione".

Si decise infatti di accelerare ulteriormente gli elettroni del pennello elettronico "solo dopo la deflessione" in modo da non provocare diminuzioni della sensibilità di deflessione del tubo a raggi catodici.

Come indicato in figura VII, uno speciale elettrodo è stato quindi inserito lungo la superficie interna della sezione troncoconica terminale del tubo. Del materiale ad alta resistenza (50 ÷ 300 Mohm complessivi), viene distribuito infatti lungo la superficie interna con un andamento spiraliforme. Questo materiale resistivo realizza così una delle resistenze che compongono il partitore di alimentazione, producendo una distribuzione di potenziali di "post-accelerazione" con la stessa simmetria cilindrica degli altri elettrodi del tubo. Si possono in pratica utilizzare così anche tensioni di accelerazione da 5.000 a 15-18.000 Volt senza alcuna diminuzione nella sensibilità di deflessione; questa anzi può addirittura venire ora aumentata riducendo la tensione di alimentazione di A3.

È solo necessario introdurre un reticolo (Mesh), di schermo (G1), che, interposto tra il sistema di deflessione e l'anodo di post accelerazione, ne elimina ogni influenza sulle placchette.

I moderni tubi a raggi catodici con tensione di post accelerazione permettono oggi la visione anche dei fenomeni più complessi e più rapidi. Un circuito di regolazione della luminosità interviene automaticamente tutte le volte che l'aumentata velocità di scansione lo richiede per garantire una buona visibilità di tutti i particolari della traccia.

È così che si è arrivati ad oscilloscopi con bande di lavoro anche di 300-500 MHz che permettono la visione di tempi di salita anche inferiori al nanosecondo.

LO SCHERMAGGIO DEL TUBO A RAGGI CATODICI

Il tubo a raggi catodici genera, con il pennello elettronico, una corrente elettrica che per la sua natura è soggetta non solo ai campi magnetici elettrici generati nel tubo ma pure ai campi elettrici e magnetici esterni al tubo stesso.

È quindi necessario schermare il tubo a raggi catodici da questi campi spuri che possono provenire dall'esterno ma anche dai circuiti stessi, specie di alimentazione, dell'oscilloscopio; si provvede con un tubo metallico, sagomato opportunamente, che avvolge il tubo a raggi catodici; esso viene in genere realizzato con lamierino metallico ad alta permeabilità magnetica.

Anche questo schermaggio non sottrae però del tutto il tubo a raggi catodici all'influenza del campo magnetico terrestre; questo non solo è sempre presente, ma può variare come intensità da un punto all'altro del nostro pianeta.

È necessario quindi prevedere anche una compensazione delle variazioni di questo campo residuo che hanno l'effetto di introdurre una sia pur modesta rotazione nella traccia sullo schermo.

Si provvede generando, esternamente al tubo, con un avvolgimento di poche spire, un campo magnetico di polarità opposta a quello terrestre di disturbo e regolandone l'intensità con corrente continua stabilizzata che viene fatta scorrere in questo circuito magnetico. Si tratta di una regolazione di tipo semifisso che viene effettuata solo inizialmente e viene ripetuta solo se l'oscilloscopio di tipo portatile, viaggiando con l'operatore, subisce dei trasferimenti a notevole distanza l'uno dall'altro sulla superficie terrestre.

I SEGNALI DELL'OSCILLOSCOPIO

Abbiamo visto che è necessario comandare con amplificatori operanti in controfase le placchette di deviazione del tubo a raggi catodici. Seguiremo ora con l'aiuto della figura VIII il percorso del segnale dall'ingresso dell'oscilloscopio sino a queste tensioni di deflessione in controfase che comandano il tubo a raggi catodici.

Il segnale di ingresso è di solito di livello piuttosto basso; esso viene quindi elevato come ampiezza da una serie di stadi di amplificazione l'ultimo dei quali, come si può notare in figura, fornisce la tensione di comando delle placchette Py.

Prima però di giungere ad esse il segnale transita in una "linea di ritardo" che ha il compito di "ritardare" appunto nel tempo la deflessione verticale.

Il perchè di questo ritardo lo possiamo ricavare come segue dal funzionamento dell'oscilloscopio.

Perchè la traccia possa comparire sullo schermo è necessario che il pennello elettronico venga deflesso anche in senso orizzontale oltre che in verticale con una tensione "a denti di sega" che sposti progressivamente nel tempo il fascetto di elettroni da sinistra a destra sullo schermo.

Occorre però che l'inizio di questa deflessione sia comandato dal segnale in arrivo.

Vediamo da vicino come ciò avviene. Un certo livello del segnale (A in figura), metterà al lavoro ad un certo punto il "circuito di trigger"; questo è uno stadio che ha il compito di dare il via alla scansione con il segnale a denti di sega.

Questo circuito di trigger produce, a sua volta, un piccolo impulso negativo che avvia il funzionamento del "sistema di generazione per l'asse-tempi", quello appunto che genera il dente di sega di deflessione indicato in figura, in uscita da questo stadio di lavoro che comanda le placchette Px.

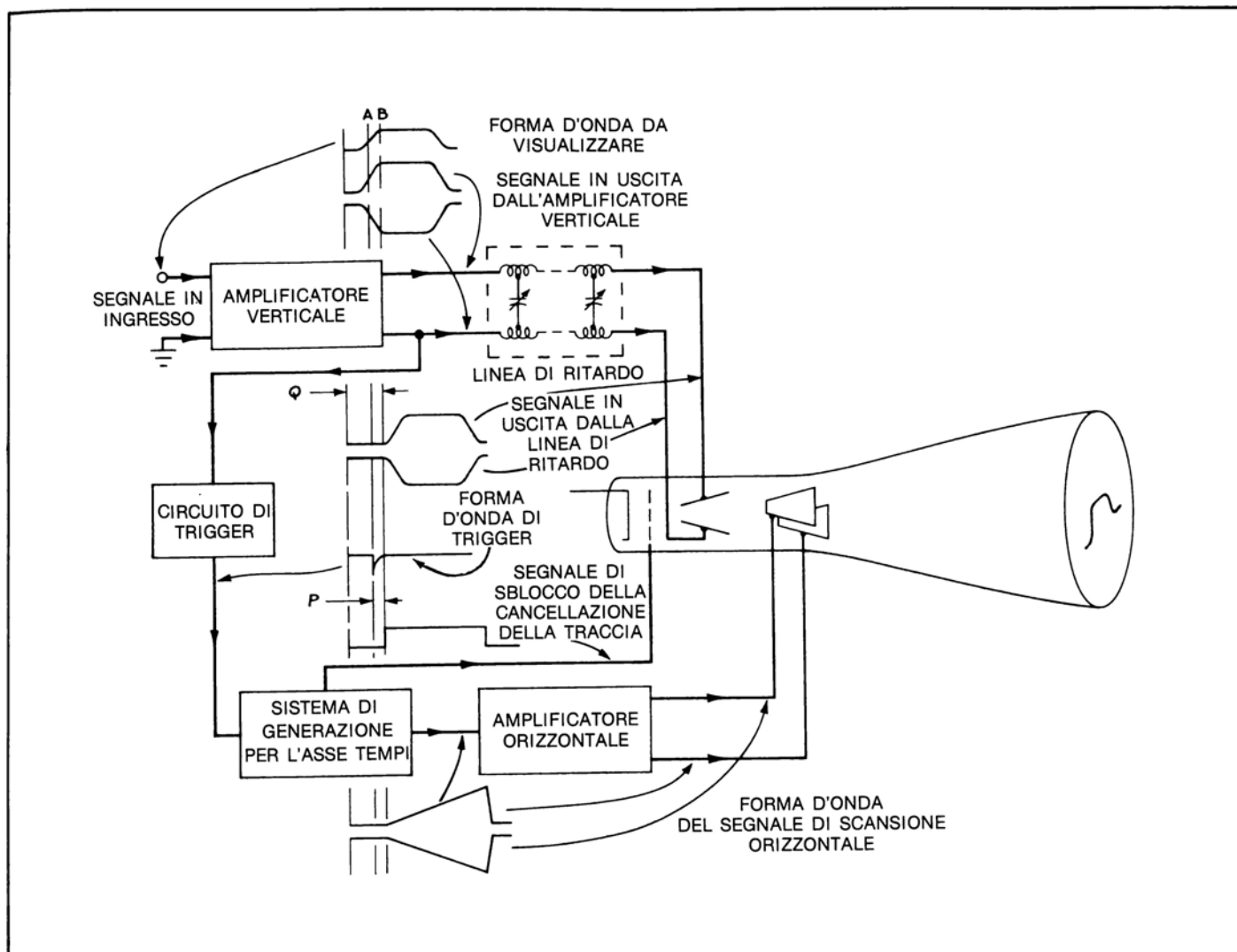



Figura VIII

Sia il percorso del segnale, che i tempi di ritardo che si verificano in un oscilloscopio, sono sinteticamente indicati in questa figura. Come si vede gli amplificatori provvedono a pilotare in controfase le placchette di deflessione così come si può rilevare dalle forme d'onda riportate.

Il sistema di generazione a sua volta comincia a emettere un segnale che toglie la tensione d'interdizione alla griglia del tubo a raggi catodici; questa tensione in assenza di segnale, blocca infatti l'emissione del pennello di elettroni.

Da questo momento può quindi cominciare a comparire sullo schermo la traccia luminosa.

Per tutte queste operazioni occorre però un certo tempo, indicato in figura con p, valutabile in circa un decimo di microsecondo. Per di più, perchè si manifestasse il livello A del segnale di ingresso, che ha comandato il circuito di trigger, è dovuto passare dell'altro tempo dall'inizio della forma d'onda in esame; questo tempo sommato a p dà un tempo complessivo, indicato con Q in figura, che si aggira mediamente sui 0,25 μ sec.

È con questo tempo appunto che agisce la "linea di ritardo" sul segnale verticale. È necessario, diversamente la scansione non permetterebbe mai la visione del tratto iniziale della forma d'onda in esame.

Come si può notare l'oscilloscopio rimane composto in sostanza da quattro parti in tutto:

- un amplificatore verticale con linea di ritardo
- un circuito di trigger
- un generatore di scansione orizzontale con relativo amplificatore
- un tubo a raggi catodici.

Il loro funzionamento ed i relativi comandi sono chiaramente spiegati nel testo che segue.

BIBLIOGRAFIA

— F.E. TERMAN
Manuale di ingegneria radiotecnica
Editore italiano: A. Martello - Milano 1960

— TEKTRONIX INC
Catode Ray Tubes
Ed. TEKTRONIX - Beaverton Oregon USA 1967

— TEKTRONIX INC
Typical oscilloscope circuitry
Ed. TEKTRONIX Beaverton Oregon USA 1961

— HARLEY CARTER
An introduction to the catode ray oscilloscope
Ed. PHILIPS Eindhoven (Holland) 1957

— ALFRED HAAS
Oscilloscope tecniques
Ed. GERNSBACH LIBRARY INC - New York 11 USA 1958

— BANDINI BUTI, RE
Oscillografo a raggi catodici
Ed. DELFINO - Milano Italia 1957

— GASPERONI
L'oscilloscopio
Ed. CALDERINI - Bologna Italia 1981

PARTE I

OSCILLOSCOPI, COMANDI E SONDE

Con la rappresentazione grafica bidimensionale in asse X ed Y che è possibile tracciare sullo schermo dell'oscilloscopio si può misurare, in pratica, qualsiasi grandezza elettrica.

Nella maggior parte dei casi l'oscilloscopio può venire utilizzato per visualizzare l'andamento di un fenomeno (con una tensione relativa all'asse verticale Y), in funzione del tempo (rappresentato sull'asse orizzontale X).

Questa presentazione grafica di uso generale permette di ricavare ben più dati di quelli che possono in alternativa venire forniti da un insieme di altri strumenti come contatori di frequenza, multimetri ecc..

Per esempio, con un oscilloscopio è possibile ricavare immediatamente la componente a corrente continua e quella a corrente alternata del segnale; così pure si può avvertire la presenza di disturbi (Noise), e misurarli in livello e frequenza. Con un solo strumento quindi, l'oscilloscopio, è possibile eseguire contemporaneamente vari controlli e misure che, diversamente, richiederebbero vari banchi di misura.

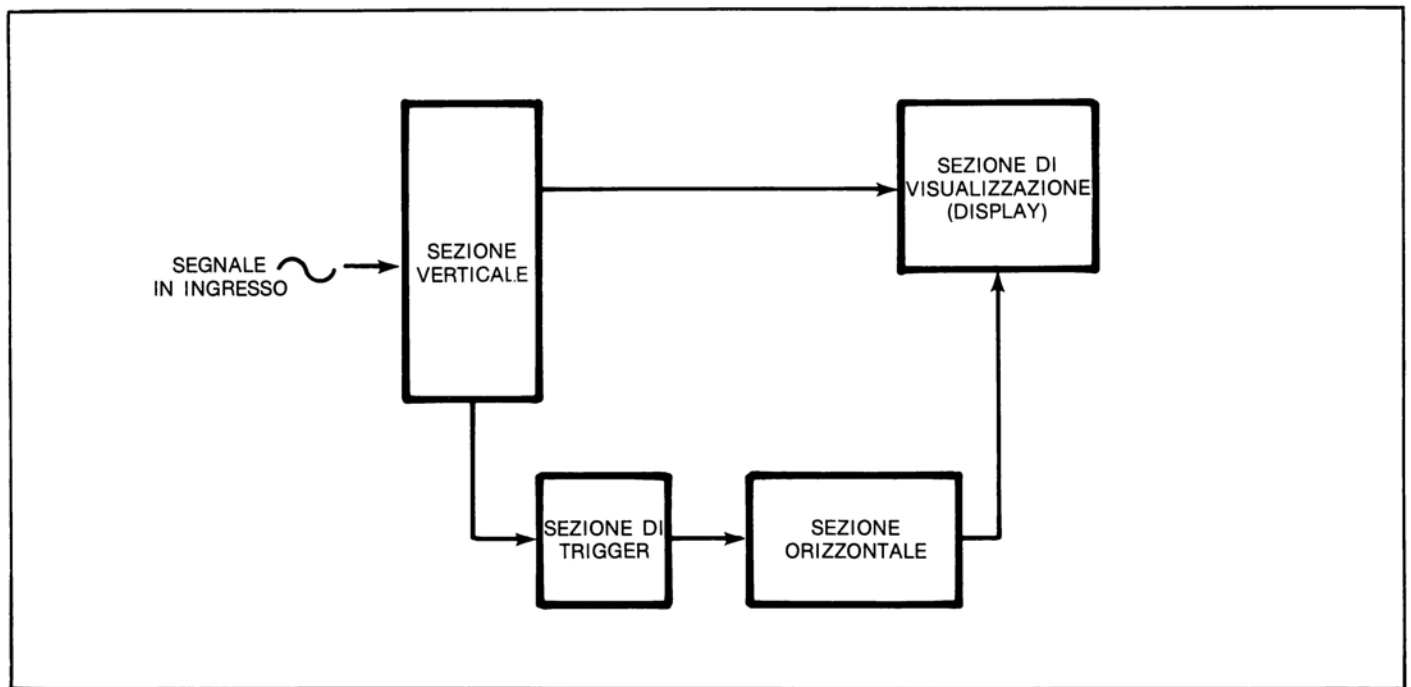



Figura 1

Nelle sue linee essenziali l'oscilloscopio è costituito in tutto da quattro sezioni qui rappresentate nello schema a blocchi in figura:

- *una sezione verticale che riceve dalle sonde il segnale da analizzare e lo elabora in modo da trasferirlo, come tensione di comando, sia alla sezione di visualizzazione (e cioè alle placchette di deflessione verticale del tubo a raggi catodici), come pure alla sezione di comando dell'asse - tempi.*
- *una sezione di comando dell'asse-tempi o asse X (viene detta comunemente anche sezione di "Trigger"), che comanda appunto, in base ai segnali in arrivo, la generazione della tensione di scansione per l'asse X.*
- *una sezione orizzontale che provvede a produrre le tensioni di comando per la scansione periodica dell'asse, appunto, orizzontale o asse X.*
- *una sezione di visualizzazione (detta anche, in gergo tecnico inglese, "Display"), che consente la visualizzazione di una traccia luminosa su di uno schermo fluorescente; essa viene tracciata sul piano dello schermo con una rappresentazione cartesiana secondo la quale sull'asse verticale o Y operano i livelli del segnale e sull'asse orizzontale o X invece il tempo di scansione.*

Si veda pure, se il caso, per una migliore comprensione, quanto indicato nella figura 3.

La maggiore parte dei segnali elettrici può venire facilmente applicata ai circuiti di ingresso di un oscilloscopio a mezzo di cavi o di apposite sonde.

Per la verifica di fenomeni di tipo non elettrico si utilizzano invece dei "trasduttori" che, in pratica, realizzano la trasformazione dell'energia da un tipo ad un altro così come avviene ad esempio con gli altoparlanti ed i microfoni; con i primi si trasforma l'energia elettrica in sonora e con i secondi, al contrario, si trasformano i suoni in segnali elettrici.

Con altri tipi di trasduttori si può trasformare una temperatura, delle sollecitazioni meccaniche, pressione, luce o calore in altrettanti corrispondenti segnali elettrici. Basta quindi disporre dell'adatto trasduttore e le possibilità di controllo e misura di un oscilloscopio divengono in pratica infinite.

Naturalmente i controlli e le misure da effettuare caso per caso saranno molto più facili per il tecnico che le esegue se questi conosce, almeno nelle linee essenziali, come l'oscilloscopio lavora. Quest'ultimo, come indica la figura I, può venire considerato come un insieme di più sezioni o sistemi operativi:

- la sezione di visualizzazione
- la sezione verticale
- la sezione di comando dell'asse tempi o sistema di trigger
- la sezione orizzontale

La sezione verticale controlla l'asse verticale (Y) della visualizzazione; in ogni istante infatti il comando di questa sezione fa sì che gli elettroni che realizzano il relativo tracciato luminoso vengano spostati in su ed in giù lungo lo schermo.

Analogamente la sezione orizzontale comanda in senso appunto orizzontale, lungo l'asse X, il movimento da sinistra a destra degli elettroni del pennello elettronico emesso dal tubo a raggi catodici.

Il sistema di trigger invece definisce i tempi in cui viene tracciato l'andamento del fenomeno in esame, determinando l'inizio della "spazzolata" o "scansione" lungo lo schermo. La sezione di visualizzazione a sua volta gestisce il tubo a raggi catodici sul cui schermo si realizza in pratica il tracciato luminoso relativo all'andamento del fenomeno da esaminare.

Nel testo, a ciascuna di queste sezioni di lavoro dell'oscilloscopio che compaiono nello schema a blocchi di figura 1, corrisponde in pratica un capitolo. In ciascuno di questi sono stati richiamati e definiti i comandi relativi da utilizzare caso per caso per un corretto funzionamento.

Questi comandi possono venire facilmente individuati nella figura in pieghevole, riportata al termine del testo, che riproduce il frontale dell'oscilloscopio più noto ed usato: il TEK 2213. Con questo ausilio pratico si potranno seguire gli esercizi pratici sull'impiego dei comandi riportati al termine di ogni capitolo.

L'ultimo capitolo tratta invece dell'impiego delle sonde. Una volta che il lettore avrà finito di leggere questi primi cinque capitoli, sarà pronto per cominciare a fare delle misure rapide e precise con il suo oscilloscopio.

Ma prima di metterlo in funzione è necessario ricordarsi di verificare come esso è connesso alla rete di alimentazione. Osservate "tutte" le precauzioni relative alla sicurezza nel corso delle operazioni di controllo e misura.

La spina del cavo di alimentazione a c.a. dovrà venire "sempre" inserita "solo" in una presa di tipo corrispondente e correttamente cablata prima di inserire in rete l'oscilloscopio e di collegare le sonde di misura. Occorre impiegare il cordone di alimentazione e la spina adatti allo strumento ed utilizzare solo il tipo di fusibile previsto dalla casa costruttrice.

Il lettore potrà ora spiegare, aprendolo, il pieghevole riportato a fine testo; esso riporta in modo chiaro e pratico, l'insieme dei comandi che compaiono sul frontale dell'oscilloscopio modello TEK 2213.

Con l'aiuto di questo pieghevole, in base alle indicazioni fornite dall'Esercizio n° 1 si potrà verificare che i vari comandi siano disposti nelle posizioni base di partenza per l'inizio delle misure.

Queste posizioni base di inizio sono importanti perchè, mano mano che il lettore si inoltrerà in queste pagine, esso dovrà fare continuo riferimento a questi comandi sul frontale dell'oscilloscopio e a ciò che verrà visualizzato sullo schermo relativo al tubo a raggi catodici, seguendo via via nel testo quanto verrà descritto e illustrato.

ESERCIZIO N° 1

Introduzione ai comandi dell'oscilloscopio

Abbiamo appena iniziato l'esposizione dei concetti fondamentali, ma conviene prendere subito famigliarità con i comandi delle quattro sezioni di lavoro dell'oscilloscopio (si veda al riguardo la figura 1).

Se esaminiamo il pieghevole inserito alla fine del testo constateremo che le quattro sezioni di lavoro sono facilmente individuabili perchè inquadrate da altrettanti riquadri a cornice che ne circondano e racchiudono i comandi.

Queste riquadrature sono presenti con le diciture sul pannello frontale dello strumento; esse sono state studiate con la disposizione dei comandi in modo da facilitare al massimo il riconoscimento delle varie manopole e le relative funzioni.

Con un poco di pratica quindi, riquadri, comandi e diciture diventeranno familiari, al punto da permettere all'operatore di maneggiare lo strumento in modo del tutto naturale e disinvolto.

Nel pieghevole sono illustrati il pannello frontale con i comandi dell'oscilloscopio modello TEK 2213.

Esso si differenzia dal modello più sofisticato TEK 2215 solo per alcuni comandi della sezione verticale, orizzontale e di trigger che sono comunque illustrati a parte nella figura 30 del testo.

Nel corso dell'esposizione citeremo tra parentesi, accanto alle diciture relative al modello TEK 2213, anche le corrispondenti del modello TEK 2215 in quei pochi casi ove esse differiscono.

Il lettore quindi, alla fine del testo, sarà stato introdotto ai comandi ed al funzionamento di entrambi questi oscilloscopi della serie TEK 2200.

Ricordiamo comunque che, sia per funzionamento che per collocazione di comandi e relative diciture sul pannello frontale, a questi modelli TEKTRONIX corrispondono sul mercato altri oscilloscopi con 50-60 Mhz di banda che sono quasi identici come caratteristiche di lavoro e prestazioni al modello TEK 2215.

L'evoluzione tecnologica ha infatti ormai unificato in pratica non solo le prestazioni ma anche i comandi e le stesse diciture degli oscilloscopi presenti sul mercato a cura delle varie Case Costruttrici.

Se quindi, per comodità, si fa riferimento nel testo ai modelli TEK 2213 e 2215, quanto qui esposto vale incondizionatamente, nei fatti, per ogni altro oscilloscopio del tipo per segnali periodici o ripetitivi.

Vediamo ora alcune manovre preliminari da eseguire per preparare l'oscilloscopio al prossimo esercizio. Procediamo per gradi esaminando sezione per sezione.

1) *Sistema di visualizzazione (o Display). Conviene regolare il comando a potenziometro AUTO INTENSITY sino a mezza corsa. La manopola del comando AUTO FOCUS andrà invece ruotata completamente tutta in senso orario sino all'arresto di fine corsa.*

2) *Sistema verticale. Partendo dall'alto, il comando POSITION del canale 1 andrà ruotato tutto in senso antiorario. Occorre poi assicurarsi che la levetta del commutatore di sinistra del riquadro VERTICAL MODE sia posta in CH1.*
   Entrambi i commutatori VOLTS/DIV sia del canale 1 (CH1), che del canale 2 (CH2), vanno posti sullo scatto corrispondente alla sensibilità più bassa e cioè ruotati tutti e due in senso antiorario sino all'ultimo scatto relativo.
   Le due manopoline rosse segnate con CAL alla sommità delle manopole di questi due commutatori, debbono risultare ruotate tutte e due in senso orario sino alla posizione di blocco meccanico alla fine della corsa.
   I due commutatori a levetta (più in basso sotto i commutatori VOLTS/DIV), debbono venire posti in posizione centrale in corrispondenza della dicitura GND.

3) *Sistema orizzontale. Partendo anche qui dai comandi alla sommità del riquadro relativo:*
   Il commutatore HORIZONTAL MODE va posto con la levetta su NO DLY (nel caso si usi il TEK 2215 la levetta va posta su A).
   Il commutatore SEC/DIV va portato sullo scatto relativo alla dicitura 0,5 millisecondi (0,5 ms).
   Occorre assicurarsi che il bottone rosso mercato CAL (sta per CALIBRATE), posto alla sommità del commutatore, sia sulla posizione di blocco alla fine della corsa, in senso orario. Lo si deve inoltre premere per assicurarsi che l'asse X operi in modo normale e non con la magnificazione che si inserisce appunto tirando in fuori il bottone.

4) *Sezione di trigger. Conviene assicurarsi che la manopola del comando di HOLDOFF sia ruotata tutta in senso antiorario.*
   Il commutatore MODE (A TRIGGER MODE per il modello TEK 2215), va posto su AUTO, mentre la levetta del commutatore più in basso marcata SOURCE (A SOURCE nel modello TEK 2215), va posta su INT; a sua volta il commutatore INT (A e B INT nel TEK 2215), andrà posto su CH1.

Queste sono le manovre da eseguire con l'esercizio n° 1.

Ora si può inserire la spina terminale del cordone di alimentazione in una presa di rete a c.a.; ma, attenzione, la presa dovrà essere correttamente cablata a massa con il suo apposito terminale.

Dopo di chè si potrà premere il pulsante POWER (vedi il pieghevole alla fine del testo), per collegare lo strumento alla rete a c.a. Con gli oscilloscopi della serie TEK 2200, non ci si deve preoccupare di regolare un commutatore di "cambio-tensione" per la tensione di rete locale perchè lo speciale alimentatore di cui sono dotati i modelli TEK 2213 e 2215 accetta qualsiasi valore di tensione di rete in un intervallo che va dai 90 ai 250 V, per una frequenza di rete compresa tra i 48 e 62 Hz.

CAPITOLO 1

LA SEZIONE DI VISUALIZZAZIONE O DISPLAY

L'oscilloscopio traccia un diagramma nel piano cartesiano che riproduce la forma d'onda del segnale che si intende analizzare.

In pratica ciò avviene a mezzo di una traccia luminosa che viene provocata dall'urto di un piccolo fascio di elettroni contro una sostanza fosforescente (comunemente detta "fosforo"), che riveste la faccia interna dello schermo del tubo a raggi catodici (TRC), componente base appunto del sistema di visualizzazione.

La traccia viene continuamente rinnovata come luminosità dal fascetto di elettroni che continua sistematicamente a percorrerla; esso, questo fascetto di elettroni, viene generato dal

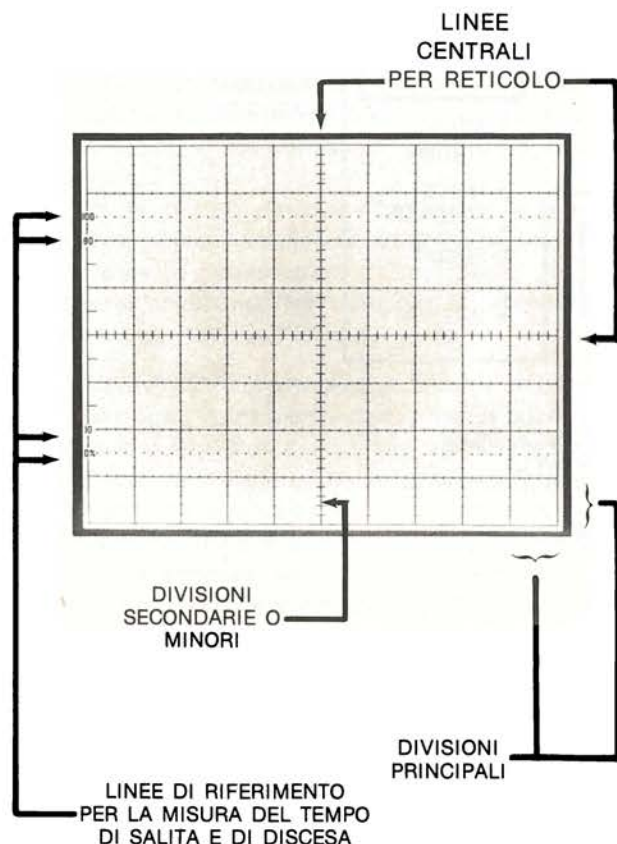



Figura 2

Il "reticolo" ("graticule" in lingua inglese), con cui viene suddivisa la superficie fosforescente del tubo a raggi catodici, in otto "divisioni" verticali per dieci orizzontali, è un dispositivo molto utile che permette di eseguire con l'oscilloscopio sia dei rilievi che delle misure di una certa precisione.

Il reticolo può venire realizzato mediante incisione di una piastrina trasparente che viene disposta praticamente a contatto con la superficie esterna dello schermo del tubo a raggi catodici.

Questa disposizione può provocare degli errori di lettura cosiddetti di "parallasse" proprio perchè si verificano quando le indicazioni da leggere (nel nostro caso le tracce oscilloscopiche), ed il reticolo giacciono su due distinti piani paralleli e l'osservatore li osserva da una direzione anche di poco discosta dalla perpendicolare alle superfici stesse.

Per evitare gli errori di parallasse nei tubi a raggi catodici di tipo più moderno, il reticolo viene inciso direttamente sulla superficie interna dello schermo fluorescente del tubo a raggi catodici. In questo caso il piano del reticolo coincide con quello di osservazione (e si evita così ogni errore di parallasse).

Gli schermi degli oscilloscopi possono venire realizzati con varie dimensioni fisiche: quasi tutti però vengono dotati in pratica di un reticolo con 8 per 10 "divisioni principali" (o più semplicemente "divisioni"), ciascuna delle quali può venire considerata, a sua volta, come suddivisa in 10 per 10 "divisioni secondarie" (o "suddivisioni"). Le diciture dei comandi e delle scale relative sono riferiti alle divisioni principali; alle "divisioni secondarie" si può risalire con i tratteggi con cui sono suddivise le due linee centrali, verticale ed orizzontale, del reticolo.

Per facilitare il rilievo dei "tempi di salita" o "di discesa" di un impulso, che stanno diventando sempre più di uso comune, il reticolo può prevedere due tratteggi orizzontali; essi permettono, con facilità, di determinare il 10 ed il 90% dei fronti di salita e di discesa che, per convenzione, vengono considerati come i limiti dei tempi di salita o discesa di un impulso.

Gli oscilloscopi della serie TEK 2200 prevedono appunto questo tipo di reticolo, inciso sulla faccia interna del tubo a raggi catodici in modo da eliminare gli errori di parallasse; esso è composto da otto divisioni verticali e dieci divisioni orizzontali, ciascuna di un centimetro di lunghezza. Lo schermo utile per la visualizzazione delle tracce è quindi di otto per dieci centimetri; sono queste le dimensioni "standard" impiegate nella maggiore parte dei più moderni oscilloscopi.

cosiddetto "cannone elettronico" del tubo a raggi catodici e resta deflesso dalle tensioni applicate alle placchette metalliche di comando del tubo (vedi figura 3).

In pratica ad ogni scansione orizzontale, comandata dalla sezione di trigger, corrisponde una eccitazione del fosforo luminescente del tubo; la traccia si presenta però ai nostri occhi come una figura stabile e di luminosità uniforme. Ciò è dovuto alle caratteristiche di "persistenza" propria del "fosforo" del tubo come pure al fenomeno della persistenza delle immagini sulla retina dei nostri occhi.

Una grigliatura incisa sul lato dello schermo del tubo a raggi catodici permette un riferimento che consente di realizzare delle misure; si tratta del reticolo indicato in figura 2.

L'immagine sul tubo a raggi catodici (TRC) può venire messo a punto come funzionamento del cannone elettronico con quattro comandi (BEAM FINDER, TRACE ROTATION, AUTOFOCUS e AUTOINTENSITY), che vengono in genere raggruppati come posizione sul fronte dell'oscilloscopio nelle immediate vicinanze dello schermo del tubo; questi comandi vengono regolati in genere una sola volta iniziando ad usare l'oscilloscopio.

IL LOCALIZZATORE DI TRACCIA (BEAM FINDER)

Questo comando permette di localizzare il punto luminoso relativo al fascetto di elettroni sullo schermo del tubo a raggi catodici, anche se la cattiva regolazione dei comandi di posizione verticale ed orizzontale può far si che esso non incontri il fosforo del tubo.

Premendo il pulsante BEAM FINDER infatti, si riducono le tensioni di deflessione verticale e orizzontale e si regola la luminosità della traccia in modo che in ogni caso il punto lumino-

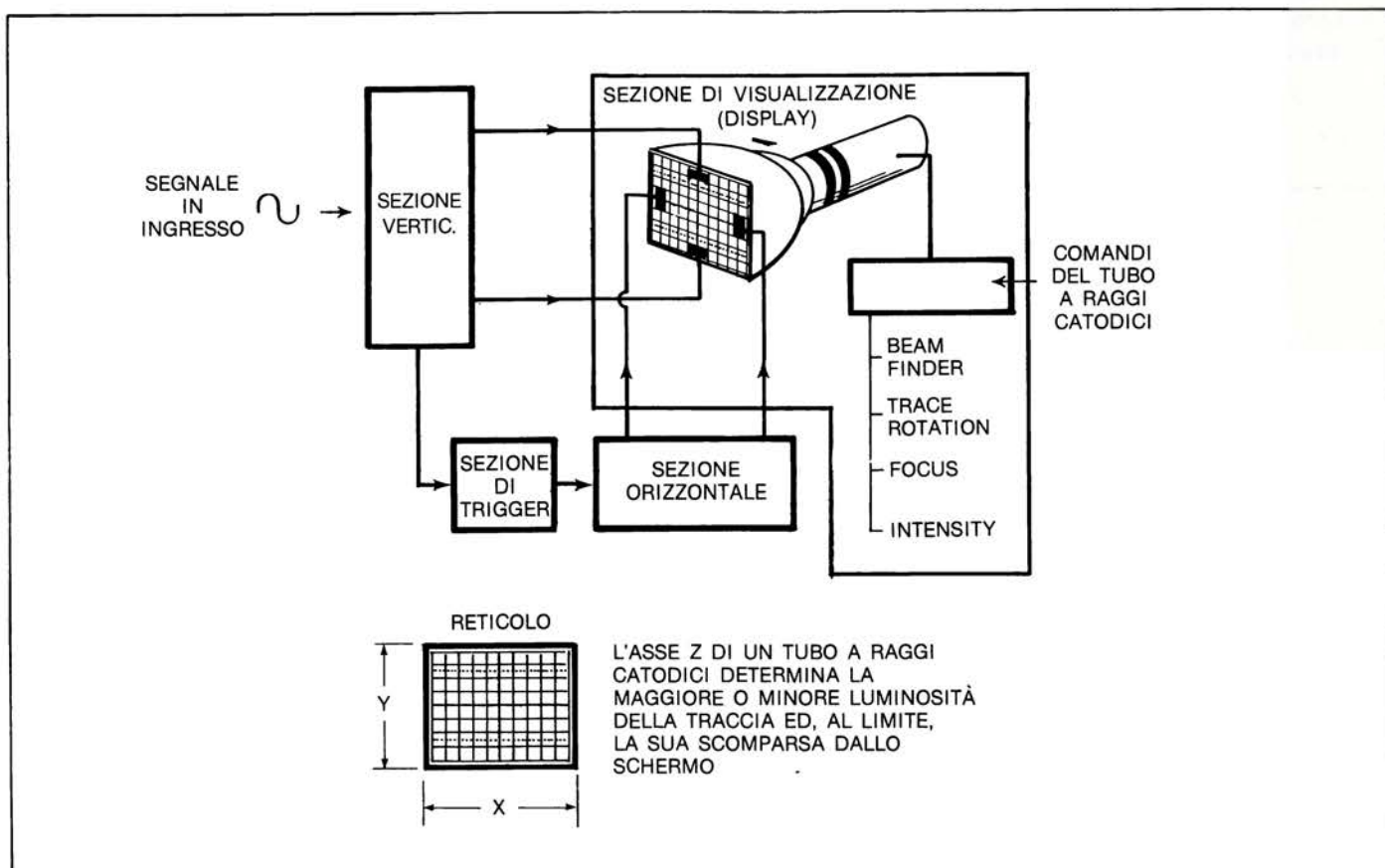



Figura 3

La sezione di visualizzazione (o "Display"), rappresentata entro un riquadro in figura, viene realizzata a mezzo del tubo a raggi catodici e dei suoi circuiti di comando che sono:

– il localizzatore di traccia (BEAM FINDER).

– il controllo di rotazione della traccia (TRACE ROTATION).

– il fuoco (AUTO FOCUS).

– l'intensità (AUTO INTENSITY).

Questi comandi sono raccolti, sul fronte del pannello in una riquadratura posta direttamente a lato del bordo destro dello schermo dell'oscilloscopio.

Esso consente la visualizzazione dell'andamento di un segnale sotto forma di diagramma nel piano cartesiano. La sezione verticale provvede alle informazioni relative all'"asse Y" e la sezione orizzontale a quelle per l'"asse X".

Esiste anche un'"asse Z" che coincide con quello del cannone elettronico del tubo a raggi catodici; esso governa la presenza o meno del pennello elettronico e la sua incidenza sullo schermo fluorescente del tubo con una maggiore o minore quantità di elettroni e quindi, rispettivamente, con una maggiore o minore luminosità di traccia.

so compaia così nell'ambito degli 8 x 10 cm. dello schermo del tubo a raggi catodici. Una volta localizzata la traccia, è possibile poi capire in che modo vanno regolati i comandi di POSITION verticale ed orizzontale per ricondurla nell'ambito dello schermo per il normale funzionamento.

IL COMANDO DI LUMINOSITÀ (INTENSITY)

Con questo comando è possibile regolare la luminosità della traccia in modo da tenere conto delle diverse condizioni di luce in cui opera l'oscilloscopio ed anche dei vari tipi di segnali che possono venire visualizzati.

Se si analizza ad esempio un'onda quadra sarà necessario aumentare la luminosità per potere visualizzare bene i fianchi di salita e discesa cui corrisponde una velocità di scansione elevata (con minore luminosità quindi di traccia), rispetto alle componenti orizzontali del segnale, molto più lente, che compariranno quindi con luminosità nettamente superiore.

Si tenga presente infatti che la luminosità della traccia dipende sia dalla consistenza in elettroni del fascetto catodico generato dal cannone elettronico del tubo a raggi catodici, sia pure dal tempo che questo fascetto ha a disposizione, muovendosi lungo lo schermo, per eccitare il fosforo.

Più ricco in elettroni sarà il fascetto e maggiore risulterà

ESERCIZIO N° 2

I comandi del sistema di visualizzazione (Display)

Con l'esercizio n° 1 abbiamo preso confidenza con i comandi dell'oscilloscopio ed alla fine lo abbiamo collegato elettricamente alla rete di distribuzione dell'energia in corrente alternata.

Faremo ora riferimento al sistema di visualizzazione (o display), dell'oscilloscopio e ne esamineremo in dettaglio i relativi comandi; essi sono disposti in verticale subito di lato sulla destra dello schermo del tubo a raggi catodici racchiusi in una cornice sul pannello frontale dello strumento.

Sarà quindi facile ritrovarli e comprenderne le funzioni sia che si segua il pieghevole, sia che si manovri invece di persona un oscilloscopio.

Esaminiamoli caso per caso con le regolazioni che converrà eseguire con ciascuno di essi:

1) *BEAM FIND. È un comando a pulsante utilissimo per "ritrovare", come dice la definizione, la posizione del fascetto di elettroni quando una regolazione scorretta lo abbia fatto deviare fuori dallo schermo fluorescente del tubo a raggi catodici.*
   Premendo dunque questo pulsante, comparirà una traccia luminosa, una linea orizzontale sullo schermo. Con l'aiuto del potenziometro del comando POSITION (primo a sinistra in alto nella sezione verticale), relativo al canale 1, sarà possibile spostare in verticale la linea luminosa fino a farla coincidere con il centro del reticolo inciso sullo schermo.
   Dopo questa regolazione, sempre premendo il bottone BEAM FIND, si potrà centrare ulteriormente la traccia agendo sul comando POSITION posto in alto nel riquadro del sistema orizzontale.
   Terminate queste regolazioni si lascerà tornare alla sua posizione di riposo il bottone BEAM FIND; sullo schermo comparirà la traccia centrata su tutta la larghezza del reticolo di misura.

2) *AUTO FOCUS. La traccia così ottenuta sullo schermo si presenterà con dei bordi grossolani perchè il pennello elettronico è "sfuocato". Agendo sul comando AUTO FOCUS sarà possibile invece renderla piuttosto sottile a bordi netti.*

3) *AUTO INTENSITY. Questo comando permette di scegliere a piacere la luminosità di traccia che l'operatore ritiene la più adatta alla esecuzione delle misure. Ricordiamo che un dispositivo automatico di regolazione (ecco perchè a intensità e fuoco viene premessa la dicitura AUTO), manterrà in seguito durante il funzionamento l'intensità luminosa e la focalizzazione di traccia scelte in queste operazioni preliminari.*

4) *POSITION in verticale. Questo comando, sempre quello del Canale 1 (in alto a sinistra nel riquadro della sezione verticale), permetterà ora di spostare in su la traccia sino a farla coincidere con la prima divisione dopo la linea corrispondente al centro orizzontale del reticolo di misura dell'oscilloscopio.*

5) *TRACE ROTATION. Agendo con un piccolo cacciavite sul taglio della vite di questo comando semifisso, la traccia luminosa ruoterà rispetto al centro del reticolo; sarà possibile regolarla in orizzontale sino a renderla perfettamente parallela alle linee orizzontali del reticolo.*
   Potrà darsi che, dopo questa regolazione, risulti necessario ritoccare il comando POSITION del Canale 1 in modo da fare di nuovo coincidere la traccia con la prima divisione, in verticale, dopo il centro del reticolo.

E con ciò il sistema di visualizzazione è messo a punto. Se ora si spegne l'oscilloscopio e lo si riaccende solo dopo un po' di tempo per seguire gli altri esercizi, dopo qualche minuto di riscaldamento dello strumento, la traccia dovrebbe comparire e tornare esattamente nella posizione per la quale è stata regolata.

I comandi di visualizzazione cioè, possono venire regolati solo una volta ogni tanto per correggere la posizione dei potenziometri di FOCUS, INTENSITY o POSITION nel caso siano andati inavvertitamente fuori posto.

quindi la luminosità; come pure più rapidamente esso si muoverà, nella scansione, sullo schermo e più bassa risulterà la luminosità della traccia perchè sarà possibile eccitare il fosforo solo per un breve intervallo di tempo.

Allo scopo di evitare un continuo ritocco della luminosità nel corso del funzionamento al variare della velocità di scansione dell'Asse tempi orizzontale, gli oscilloscopi più moderni (come quelli della serie TEK 2200), sono dotati di una regolazione automatica della luminosità che la mantiene costante anche se la velocità di scansione orizzontale viene comunque variata nel campo da 0,5 millisecondi per centimetro (0,5 ms/cm), a 0,5 microsecondi per centimetro, (0,5 μs/cm). In questo ambito la luminosità resta la stessa che l'operatore avrà scelto inizialmente, mettendo in funzione l'oscilloscopio e regolando appunto l'apposito comando AUTO INTENSITY.

IL COMANDO DI FOCALIZZAZIONE (FOCUS)

Perchè la figura tracciata sullo schermo sia ben netta, occorre che gli elettroni del pannello del tubo a raggi catodici siano ben raggruppati tra loro. Si provvede a ciò regolando la tensione di alimentazione di un apposito elettrodo del cannone elettronico del tubo; un comando nel pannello frontale dell'oscilloscopio consente di regolare appunto questa tensione per la migliore "focalizzazione" della traccia.

Nei modelli di oscilloscopio della serie 2200 un circuito, AUTO FOCUS, consente di mantenere la focalizzazione costante per qualsiasi velocità di scansione nel campo da 0,5 millisecondi sino a 0,5 microsecondi per centimetro di schermo.

LA ROTAZIONE DELLA TRACCIA (TRACE ROTATION)

Un altro comando a disposizione sul pannello frontale degli oscilloscopi più moderni (come nel caso appunto di quelli della serie TEK 2200), è quello relativo alla rotazione della traccia; questa messa a punto consente di allineare la deflessione orizzontale del tubo a raggi catodi alle linee di riferimento orizzontali del reticolo inciso sulla faccia interna dello schermo fluorescente.

Questa regolazione viene effettuata in pratica solo saltuariamente e, molto opportunamente, si provvede ad essa con un cacciavite inserito in un'apposita sede del pannello frontale di comando; si evita così che, involontariamente, si possa verificare, per errore, un disallineamento della traccia.

Nella stragrande maggioranza dei casi questo allineamento verrà regolato una volta per tutte ed in seguito si potrà dimenticarsene.

Se però l'oscilloscopio viene impiegato in servizio mobile, come capita appunto nel caso di interventi di manutenzione sul posto su vari impianti, potrà capitare che l'oscilloscopio operi successivamente in località anche a grande distanza fra loro.

In questo caso il comando TRACE ROTATION potrà tener conto del fatto che le variazioni del campo magnetico terrestre possono influenzare la deflessione del pennello elettronico dei tubi a raggi catodici introducendo appunto delle rotazioni nelle tracce generate dall'oscilloscopio.

L'IMPIEGO DEI COMANDI DELLA SEZIONE DI VISUALIZZAZIONE

Lo schema a blocchi di figura 3 indica le modalità di funzionamento della sezione di visualizzazione; sono indicati pure i comandi relativi che agiscono sul funzionamento dell'ottica elettronica del tubo a raggi catodici.

L'esercizio n° 2 permetterà al lettore di familiarizzarsi con l'uso pratico di questi comandi.

CAPITOLO 2

LA SEZIONE VERTICALE

La sezione verticale dell'oscilloscopio permette di fornire all'asse Y (e cioè alle placchette di deflessione orizzontali del tubo a raggi catodici, come indicate in figura 3), i segnali elettrici relativi alle informazioni verticali necessarie al tracciamento delle forme d'onda; queste compaiono per luminescenza come grafici cartesiani, sullo schermo del tubo a raggi catodici.

Allo scopo, il sistema verticale riceve in ingresso dei segnali e fornisce in uscita delle "tensioni di deflessione".

Queste ultime vengono infatti utilizzate per il controllo, e cioè per la deflessione del pennello elettronico generato dal "cannone elettronico" del tubo a raggi catodici (TRC).

Per di più il sistema verticale:

— permette di scegliere il modo migliore di applicare il segna-

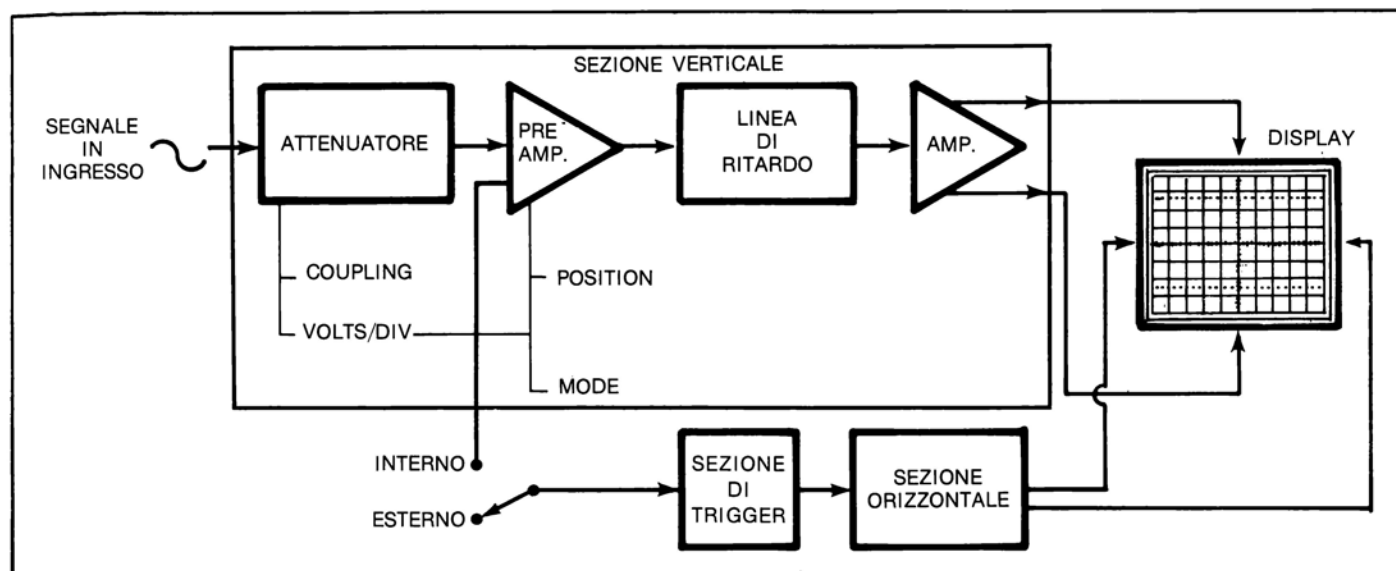



Figura 4

La sezione verticale degli oscilloscopi della serie TEK 2200 (rappresentata come racchiusa in un riquadro in figura), prevede due distinti canali di amplificazione (per semplicità nello schema a blocchi se ne è rappresentato solo uno).

I circuiti della sezione verticale:

- *accettano il segnale accoppiandosi ad esso in modo diverso a seconda dei casi.*
- *introducono vari gradi di attenuazione a piacere per ridurre la sensibilità ed adattare così l'oscilloscopio al livello del segnale da esaminare.*
- *preamplificando il segnale, lo ritardano nel tempo per dare la precedenza alla scansione orizzontale e successivamente lo amplificano ulteriormente in modo da consentire il pilotaggio, in controfase, delle placchette orizzontali del tubo a raggi catodici.*

Il ritardo del segnale rispetto alla scansione orizzontale consente di analizzare sullo schermo l'inizio della forma d'onda anche se è da questa porzione iniziale del segnale che normalmente viene ricavato, dal preamplificatore, il segnale di sgancio (trigger), dell'asse - tempi.

La sezione verticale opera con quattro tipi di comandi:

- *COUPLING che governa l'accoppiamento dei canali con la sola componente alternata (su AC), o con tutte le componenti (su DC), del segnale.*
- *VOLT/DIV che gradua la sensibilità dei due canali di cui è dotato l'oscilloscopio.*
- *POSITION con cui si regola la posizione in verticale sullo schermo delle tracce relative ai canali.*
- *MODE che provvede ad inserire in funzionamento il canale 1 o il canale 2 o entrambi con varie modalità di lavoro.*

Tutti i comandi della sezione verticale sono racchiusi sul pannello frontale dello strumento da una riquadratura che li circonda e ne facilita la ricerca e l'individuazione.

le in ingresso (comandi accoppiamento o COUPLING).

– fornisce un segnale interno, a parte, destinato al comando di sganciamento (trigger) della deflessione orizzontale.

Lo schema a blocchi di figura 4 permette di individuare, sia pure in modo schematico, i componenti fondamentali ed i comandi della sezione verticale.

In pratica, come si può notare dalla figura 4, il segnale (da visualizzare come grafico nel piano cartesiano sullo schermo del TRC), viene innanzitutto inserito nel circuito di un attenuatore variabile che permette di ottenere le varie portate di sensibilità.

Con l'attenuatore tutto disinserito si avrà la massima sensibilità verticale (2 mV/cm per la serie 2200), consentita appunto dal preamplificatore ed amplificatore che operano nel sistema verticale per elevare i millivolt del segnale di ingresso fino alla decina di volt e più necessari alla deflessione del pennello di elettroni del tubo a raggi catodici.

I vari passi di attenuazione, progressivamente inseribili, consentiranno invece le varie portate in Volt/cm sino ad un minimo di sensibilità, per la serie 2200, di 10 V per ogni centimetro della scala verticale del reticolo.

Tra il preamplificatore e l'amplificatore, vero e proprio, come indica la figura 4, è inserita una "linea di ritardo". Essa ha il compito di ritardare infatti di un dato tempuscolo, sia pure molto piccolo (dell'ordine di 0,25 µsec.), l'applicazione del segnale di deflessione alle placchette orizzontali del tubo a raggi catodici.

Prima infatti che ciò avvenga, il segnale di trigger deve permettere la partenza della "rampa" di tensione che comanda la deflessione del pennello elettronico del TRC in senso orizzontale.

Se non si avesse questo "anticipo" di funzionamento che viene concesso all'asse X, si rischierebbe infatti di non vedere bene l'inizio delle forme d'onda da esaminare.

La linea di ritardo consente infatti che, prima inizi la deflessione orizzontale, e solo dopo, arrivi la tensione alle placchette dell'asse Y ed inizi la deflessione verticale.

Va inoltre notato che mentre in ingresso all'oscilloscopio il segnale viene connesso in "dissimmetrico" (e cioè con due connessioni elettriche, una "fredda" di terra ed una "calda" specifica per il segnale da esaminare), il comando della deflessione verticale avviene con un'uscita in "simmetrico" dall'amplificatore del sistema.

Le placchette orizzontali vengono infatti eccitate fra loro in opposizione di fase (o in "controfase"), e ciascuna con una tensione simmetrica rispetto alla terra di riferimento dell'oscilloscopio. Questo tipo di eccitazione infatti, anche se più complesso come circuito, e quindi più costoso, consente però di evitare ogni distorsione nella deflessione del pennello elettronico del TRC.

I circuiti del sistema verticale (attenuatore, amplificatori, linea di ritardo), sono quelli che più impegnano il progettista dell'oscilloscopio per il buon motivo che le loro caratteristiche di lavoro devono mantenersi in pratica:

– uniformi in tutta la banda di frequenza di lavoro propria dell'oscilloscopio, dalla continua fino al massimo valore della banda di frequenza prevista.

– stabili, sia nel tempo, che anche per eventuali notevoli oscillazioni della temperatura dell'ambiente di lavoro.

Buona parte degli sforzi tecnologici e quindi buona parte pure dei costi di produzione vengono pertanto assorbiti dal sistema verticale dell'oscilloscopio.

Tornando ora ad esaminare i comandi diremo che parte di questi (posizione verticale, sensibilità ed accoppiamento di ingresso), sono caratteristici di ogni canale di ingresso; sul pannello frontale degli oscilloscopi della serie 2200 ne compaiono due serie, una per ciascuno dei due canali di lavoro previsti.

La sezione verticale prevede inoltre due comandi a parte che caratterizzano le modalità di visualizzazione (VERTICAL MODE), oltre ad un pulsante che consente di invertire la polarità di lavoro del canale 2.

Per attuare gli esercizi riportati alla fine del capitolo è necessario disporre, per ogni canale di lavoro, di una sonda di accoppiamento del tipo X10, da disporre tra l'oscilloscopio e la sorgente del segnale da esaminare. Per la serie 2200 possono venire utilizzate le sonde X10 modello TEK P 6120 che vengono appunto fornite a corredo degli strumenti.

POSIZIONE VERTICALE DELLE TRACCE

I comandi di POSITION (in alto sul pannello frontale di comando), dell'oscilloscopio permettono di collocare la traccia luminosa esattamente là dove si desidera sullo schermo del TRC.

I due controlli di POSITION verticale (uno per ogni canale di lavoro nel riquadro relativo alla sezione verticale), consentono infatti di variare a piacere in senso verticale la posizione delle tracce relative ai due canali 1 e 2, mentre quello di POSITION orizzontale (nel riquadro della sezione orizzontale), comanda la collocazione, in senso orizzontale appunto, di entrambi i canali assieme.

ACCOPPIAMENTO DEI SEGNALI IN INGRESSO

Il commutatore a levetta a tre posizioni (DC, GND, AC), presente sul pannello di comando dell'oscilloscopio per ogni canale verticale di lavoro, permette di scegliere il tipo di accoppiamento più conveniente.

In posizione DC (abbreviazione del termine Direct Current, espressione di lingua inglese che vale in lingua italiana Corrente Continua), l'oscilloscopio potrà visualizzare qualsiasi forma d'onda compresa, come componenti armoniche, nella banda che va dalla corrente continua fino al limite superiore previsto per la banda di lavoro (60 MHz a –3 dB di attenuazione per la serie 2200 della TEKTRONIX).

In posizione AC (sta per Alternating Current o Corrente Alternata), il comando blocca invece la componente continua eventualmente presente nel segnale in esame e permette la visualizzazione delle componenti alternate con un certo taglio per le frequenze più basse (circa 10 Hz di limite inferiore di banda di lavoro per –3 dB di attenuazione).

La figura 5 mostra la differenza di presentazione e di lettura del valore di un segnale sinusoidale nei due casi qui considerati.

In posizione intermedia, in corrispondenza alla dicitura GND (che sta per Ground e cioè terra), la levetta disconnette l'in-

gresso dai segnali e fa sì che la traccia scorra liberamente per effetto di una continua triggerazione, presentandosi come una linea orizzontale luminosa corrispondente, come posizione sul verticale, al potenziale di terra dello chassis dell'oscilloscopio.

In questo modo, in posizione GND, la traccia permette di rilevare il livello di riferimento di terra; commutando quindi questo comando a levetta tra le posizioni AC o DC su GND, si ha la possibilità di misurare in modo pratico ed agevole la tensione relativa al segnale in esame rispetto a terra.

Facciamo presente comunque che questo comando in posizione GND non introduce alcun collegamento di terra verso il segnale collegato in ingresso con la sonda.

Il condensatore di accoppiamento del circuito di ingresso del canale viene infatti disconnesso, in posizione GND, dal collegamento di ingresso dell'oscilloscopio e rimane collegato con un capo al polo "caldo" del connettore BNC del canale e con l'altro verso la massa dello chassis metallico.

In tal modo:

- il circuito sorgente del segnale da esaminare rimane, come già detto, isolato da massa.
- il condensatore di ingresso del circuito di canale ha modo di caricarsi al livello della componente in corrente continua eventualmente presente nel segnale e ciò consente una pronta visione della forma d'onda quando il commutatore a levetta venga spostato su AC.

Se infatti in questa posizione il condensatore non fosse già carico, esso dovrebbe caricarsi con le resistenze (e relative costanti di tempo), del circuito di ingresso del canale; durante questa "precarica" si farebbe sentire la componente continua del segnale, sia pure in progressivo smorzamento impedendo una stabile posizione della traccia relativa alla componente alternata.

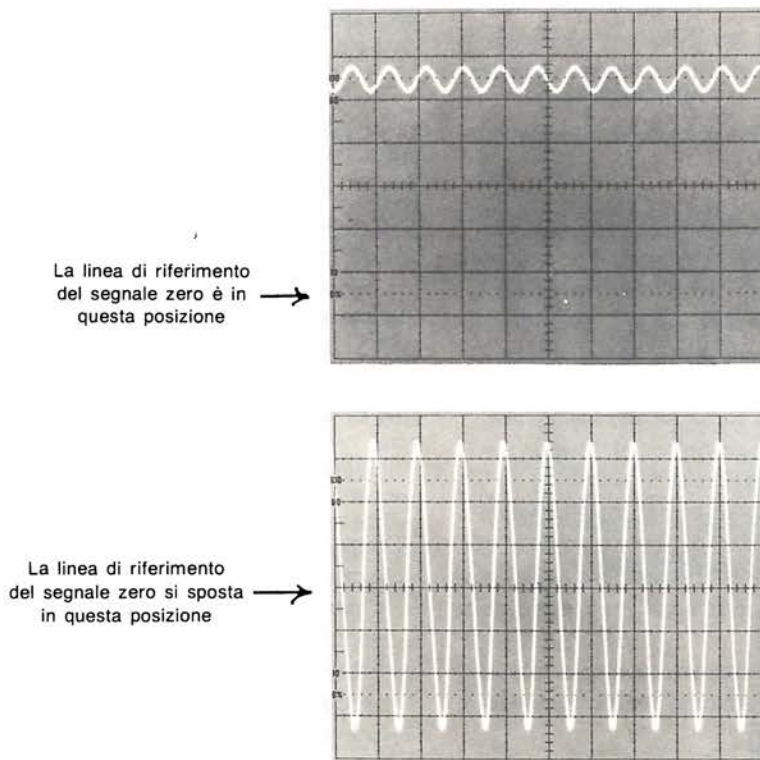



Figura 5

Il comando di accoppiamento COUPLING (uno per ogni canale verticale dell'oscilloscopio), consente di scegliere, con le tre posizioni del commutatore, tra:

- *l'accoppiamento in AC che blocca le componenti continue del segnale.*
- *l'accoppiamento in DC che lascia passare tutte le componenti del segnale, sia le continue che le alternate.*
- *la posizione GND con la quale l'ingresso dell'amplificatore verticale viene chiuso a terra tramite la resistenza di ingresso del canale; questo risulta così impedito al funzionamento.*

  Se si impiega il "trigger automatico", con questa posizione GND compare sullo schermo una traccia lineare orizzontale che consente di individuare comodamente la linea di riferimento di segnale zero.

L'accoppiamento in corrente alternata è molto comodo quando la componente continua del segnale è molto più alta di quella alternata (si veda la prima fotografia in alto in figura).

L'eliminazione della componente continua con la posizione AC, permette infatti di analizzare con comodità il segnale su tutto lo schermo dell'oscilloscopio (si veda la seconda fotografia in figura); basta allo scopo porre il commutatore VOLT/DIV su di un passo corrispondente ad una sensibilità più elevata per il canale verticale impiegato.

Per tutta la durata di questa "precarica" infatti, la traccia si sposterebbe mano mano sullo schermo del tubo a raggi catodici per effetto della carica del condensatore che, per tutto il tempo imposto dalla costante di tempo RC del circuito (C di accoppiamento e R del circuito di ingresso), simulerebbe in pratica un segnale.

SENSIBILITÀ VERTICALE

Un commutatore rotativo (con passi di commutazione riferiti a vari valori di sensibilità del canale espressi in Volt/divisione), controlla la sensibilità di ogni canale verticale.

Disponendo così di una vasta gamma di sensibilità (da qualche mV a vari Volt per divisione del reticolo di riferimento inciso sullo schermo del tubo a raggi catodici), l'oscilloscopio si presta ad una altrettanto vasta gamma di applicazioni; ad esempio dal controllo del segnale in uscita, di pochi millivolt da un microfono, alla verifica della componente continua del segnale in uscita da uno stadio amplificatore di potenza a radiofrequenza.

Commutando questo comando di sensibilità sui vari passi relativi alle portate disponibili, con la sensibilità dell'oscilloscopio, varia anche il "fattore di scala" relativo a ciascuna delle divisioni principali del reticolo (vedi figura 2).

Ogni passo di commutazione è infatti contrassegnato, sul pannello frontale dell'oscilloscopio con un numero che è in dpratica il "fattore di scala" del canale. Per esempio, in corrispondenza al passo di commutazione contrassegnato con 10V ciascuna delle divisioni principali del reticolo "vale" 10 Volt e l'intero schermo, può visualizzare al limite una forma d'onda con un'ampiezza massima di 80 Volt, poichè 8 sono appunto le divisioni principali in cui è suddiviso lo schermo con il reticolo, dal punto più basso a quello più alto. Se invece la portata, come sensibilità, relativa al passo di commutazione prescelto è di 2 millivolt, sullo schermo potrà visualizzare un segnale, al limite, di 16 millivolt di ampiezza.

D'altra parte se si legge il valore della sensibilità espresso in VOLT/DIV, pronunciando la parola "per" al posto della linea di frazione, si legge in pratica il "fattore di scala" del passo di commutazione prescelto; i 20 mV di portata vengono infatti letti come "20 millivolt per divisione".

Il tipo di sonda impiegata per collegare l'oscilloscopio al punto che fornisce il segnale da esaminare, influenza ovviamente il "fattore di scala".

Ricordiamo al riguardo che sono due le aree non ombreggiate (sul traslucido di ognuno dei due comandi VOLT/DIV), in corrispondenza delle quali è possibile leggere il "fattore di scala"; l'una a destra, è riferita alle sonde x 10 e l'altra, quella a sinistra, alle sonde di tipo X1.

REGOLAZIONE FINE DEL VOLT/DIV

Il comando con bottone di colore rosso con sopra inciso CAL (sta per Calibrato), posto alla sommità della manopola del commutatore relativo VOLT/DIV, consente una variazione continua del "fattore di scala" fino ad un valore 2,5 volte più grande di quello relativo al passo di commutazione.

Si tratta di un comando che rivela tutta la sua utilità quando si desideri effettuare rapidamente una comparazione tra l'ampiezza di una serie di segnali.

Se si dispone, ad esempio, di un segnale di ampiezza nota e se si fa corrispondere,con il comando CAL appunto, i limiti superiori ed inferiori della forma d'onda di tale segnale, esattamente a delle linee orizzontali delle divisioni principali del reticolo, diviene poi molto facile verificare immediatamente se altri segnali corrispondono o meno a tale ampiezza.

INVERSIONE DI POLARITÀ DEL CANALE 2

Per effettuare misure di livello in "differenziale" (sono descritte nella seconda parte di questo testo), è necessario invertire la polarità di lavoro di uno dei due canali a disposizione.

Il comando a pulsante INVERT relativo all'amplificatore verticale del canale 2 permette appunto questa possibilità di misura.

Premendo questo pulsante, a posizione stabile, esso resta premuto e la polarità del canale 2 si inverte. Ripremendolo esso si riporta nella posizione di riposo ed entrambi i canali tornano ad operare con la stessa polarità.

MODALITÀ DI LAVORO DELLA SEZIONE VERTICALE

Per la migliore utilizzazione di un oscilloscopio è necessario che siano disponibili varie possibilità di presentazione, in asse verticale, della traccia e che sia possibile scegliere in modo rapido e pratico la più conveniente caso per caso.

Ciò premesso, se esaminiamo ora il pannello frontale dei modelli TEK 2213 e 2215 noteremo due commutatori a levetta a tre posizioni disposti tra i comandi della sezione verticale, in alto subito sotto quelli di POSITION che abbiamo già esaminato.

Essi sono racchiusi da una piccola cornice che porta la dicitura VERTICAL MODE.

Il primo commutatore a levetta, sulla sinistra, consente di operare:

- in posizione CH1 solo con il canale 1 in funzione
- in posizione CH2 solo con il canale 2
- in posizione BOTH con entrambi i canali contemporaneamente in funzione.

Il secondo commutatore a levetta, disposto sulla destra della sezione verticale, interviene solo se il primo commutatore a levetta è posto nella posizione BOTH, se cioè si decide di operare con entrambi i canali. In questo caso esso permette di scegliere tre distinte modalità operative della sezione verticale e precisamente:

- in ALT l'oscilloscopio provvede a scandire alternativamente prima la traccia di un canale verticale e poi quella del canale successivo.

  Naturalmente i nostri occhi non possono seguire questa scansione alternata che avviene con grande rapidità specie se si opera con forti velocità di scansione per l'esame delle forme d'onda di maggiore frequenza. In pratica sullo schermo dell'oscilloscopio compariranno quindi, ben stabili ai nostri occhi, le tracce relative ai due canali della sezione verticale.
- in CHOP l'oscilloscopio provvede invece, valendosi di un

commutatore elettronico, a scandire in rapidissima successione prima una parte della traccia del primo canale e, successivamente, un tratto della seconda traccia relativa al secondo canale e così via sino a permetterci, anche in questo caso, la visione stabile e completa di entrambe le tracce.
La commutazione da una traccia all'altra avviene infatti con un ritmo tanto veloce che i nostri occhi non possono seguirlo. Se si opera con velocità di scansione relativamente ridotta, per l'esame delle forme d'onda di frequenza propria più bassa, non sarà d'altra parte possibile notare alcun intervallo tra i tratti successivi con cui viene in pratica scandita ogni traccia.
Questi tratti si salderanno in pratica, ai nostri occhi, in una traccia continua del tutto analoga a quella che è possibile realizzare operando con uno solo dei canali verticali.

- in ADD l'oscilloscopio provvede a sommare algebricamente fra loro i segnali relativi ai due canali ed a tracciare sullo schermo la forma d'onda risultante.
Anche se si opera con due canali in funzione si avrà quindi una sola traccia sullo schermo, quale risultante dalla somma algebrica del segnale del canale 1 più (o meno), quello del canale 2 secondo l'espressione:

$$(CH1) \pm (CH2)$$

In questo caso i due canali si comporteranno quindi come un unico canale operante "in differenziale" o in "controfase", simmetricamente cioè con ciascun terminale rispetto alla terra. Ciò è molto utile in pratica per esaminare segnali provenienti da linee operanti "in simmetrico" con i due fili entrambi "caldi" rispetto alla terra così come avviene appunto per le linee telefoniche; queste, che hanno spesso percorsi di notevole lunghezza, restano così difese efficacemente dai disturbi che potrebbero venire indotti su di esse dai campi estranei presenti generalmente lungo il percorso della linea stessa. Questa modalità di servizio verrà analizzata più a fondo nella seconda parte del testo.

Tornando ora a esaminare le due modalità di lavoro relative alle posizioni ALT e CHOP, riteniamo opportuno puntualizzare che esse si riferiscono, quando si operi con entrambi i canali, a precise esigenze pratiche.

Se si analizzano infatti segnali di frequenza piuttosto elevata, che richiedono appunto scansioni abbastanza veloci per venire visualizzati in dettaglio, non è possibile operare con un commutatore elettronico per analizzare contemporaneamente le due forme d'onda; l'interruttore elettronico infatti può operare in pratica al massimo con un ritmo di qualche centinaio di KHz e quindi, con le scansioni più veloci, la traccia risulterebbe non più composta da una linea continua ma da una linea tratteggiata tanto più grossolana, e quindi imprecisa, quanto maggiore risulterebbe la velocità di scansione dell'asse orizzontale dell'Oscilloscopio.

Per contro, analizzando forme d'onda di frequenza abbastanza elevata, conviene utilizzare il modo alternato in quanto il nostro occhio non riesce a percepire l'alternanza di scansione tra una traccia e l'altra tipica del MODE ALT.

Le cose cambiano invece se, riducendosi la velocità di scansione, aumentano i tempi necessari ad analizzare completamente, con ALT, prima un segnale e poi l'altro. Se si arriva infatti a velocità di scansione dell'ordine di qualche millisecondo per divisione orizzontale e più ancora, ci si avvicina ai tempi tipici della persistenza delle immagini sulla retina dell'occhio umano, la traccia viene percepita dai nostri occhi con un fastidioso sfarfallio (detto in lingua inglese «flicker effect»), che riduce drasticamente le possibilità di analisi delle forme d'onda.

Per queste velocità di scansione relativamente basse è possibile comunque inserire il MODE CHOP che, senza più alcun sfarfallio, permetterà una buona visione contemporanea dei due canali con altrettante tracce stabili e continue dato che la bassa velocità di scansione non permette di apprezzare le interruzioni presenti in ogni traccia.

In sostanza quindi riassumendo, quando si opera contemporaneamente con due canali:

- con il MODE ALT converrà esaminare le forme d'onda relative ai segnali di frequenza più elevata, con tempi di scansione, via via sempre più ridotti, a partire all'incirca da 0,5 ms/cm.
- con il MODE CHOP converrà analizzare le forme d'onda di frequenza più bassa con velocità di scansione inferiori a 0,5 ms/cm all'incirca.

Gli esercizi inseriti nel testo permetteranno al lettore di familiarizzarsi ulteriormente in modo pratico con questi concetti.

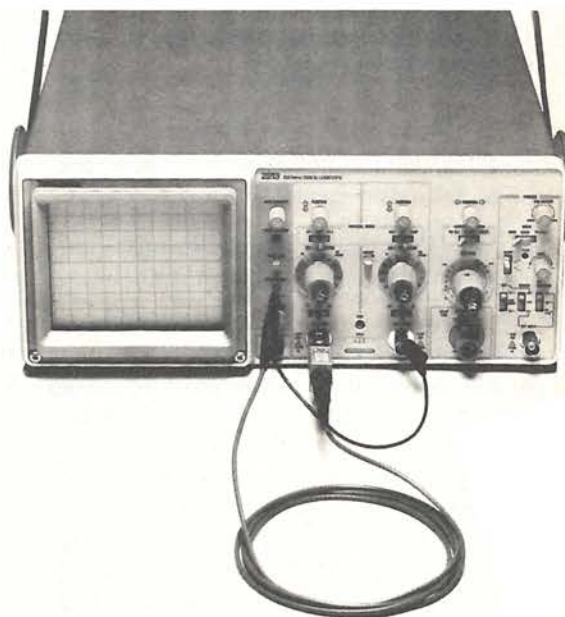



Figura 6

La fotografia di questa figura mostra come viene inserita una sonda in modo da permetterne la compensazione.
Uno dei terminali viene inserito nel connettore a BNC di uno dei canali (nel nostro caso si tratta del canale 1), ed il puntale viene invece connesso al terminale di uscita (con la dicitura PROBE ADJUST), di un segnale ad onda quadra; questo terminale è presente sul pannello frontale dell'oscilloscopio, nel riquadro relativo ai comandi della sezione di visualizzazione a lato del bordo destro dello schermo.
Il terminale di terra del puntale della sonda è stato connesso per comodità, con la sua presa a coccodrillo, alla ghiera metallica esterna del connettore di tipo BNC del canale 2.

SEPARAZIONE DELLE TRACCE RELATIVE AGLI ASSI TEMPI A e B

La sezione verticale dell'oscilloscopio TEK 2215 a doppio asse tempi comprende un comando in più rispetto al modello TEK 2213 ed è il comando (con dicitura A/B SWP SEP), di separazione delle tracce generate dai due assi tempi A e B.

Quando operano contemporaneamente i due assi tempi A e B, sullo schermo compaiono quattro tracce contemporanee; due di esse consentono la visione della forma d'onda dei due segnali relativi ai canali 1 e 2 con intensificato, come luminosità, il dettaglio che si desidera espandere, mentre con le altre due tracce è possibile la visione del dettaglio espanso.

Ebbene, questo comando permette di distanziare in senso verticale le due tracce (una per il canale 1 ed una per il canale 2), relative alla scansione dell'asse tempi B rispetto alle altre due generate con la scansione dell'asse tempi A che rimangono invece fisse e regolate solo dai comandi di POSITION.

È un comando che manifesta tutta la sua utilità quando risulti necessario posizionare armonicamente le quattro tracce sullo schermo consentendone nello stesso tempo un facile riconoscimento.

Nel capitolo 9 tratteremo delle misure che vengono realizzate con il doppio asse tempi A e B e ritorneremo quindi su questo comando della sezione verticale presente nel modello TEK 2215.

COME SI UTILIZZANO I COMANDI DELLA SEZIONE VERTICALE

Prima di utilizzare i comandi della sezione verticale occorre assicurarsi che siano nella posizione in cui essi sono stati lasciati alla fine dell'ultimo capitolo:

- AUTO INTENSITY ed AUTO FOCUS dovranno essere in una posizione tale da dare una traccia netta e di buona luminosità.
- Il commutatore SOURCE (A SOURCE nel modello 2215), della sezione trigger, dovrà essere posto su INT ed il commutatore INT (A e B INT per il 2215), su CH1.
- Il commutatore MODE della sezione trigger (A TRIGGER MODE per il 2215), dovrà essere posto su AUTO.
- Il comando VAR HOLDOFF della sezione trigger dovrà venire ruotato completamente in senso antiorario.
- Il comando SEC/DIV (A e B SEC/DIV per il 2215), dovrà venire ruotato su 0,5 ms.
- Entrambi i commutatori VOLTS/DIV dei canali verranno posti su 100 V (in corrispondenza del contrassegno X 10 relativo alla sonda impiegata).
- Entrambi i comandi VAR VOLT/DIV verranno ruotati completamente in senso orario, fino alla loro posizione di blocco, a fine corsa.
- Le levette dei comandi di accoppiamento di ingresso verranno poste su GND.
- Il comando VERTICAL MODE verrà posto su CH 1.
- Il comando ORIZONTAL MODE invece su NO DLY (su A nel caso del 2215).

Ora si potrà inserire una delle sonde X10 nel suo connettore BNC relativo al canale 1 (il termine BNC è una abbreviazione derivata dalle iniziali dei termini di lingua inglese «Bayonet NEIL-CONCELMAN»; questo espressione è un tributo di riconoscimento a Paul NEIL che elaborò i connettori di tipo N presso i laboratori della BELL ed a Carl CONCELMAN che sviluppò invece quelli della serie C).

La punta della sonda verrà inserita nella boccoletta contrassegnata con PROBE ADJ. Ogni sonda è corredata con un cavetto di massa terminante con una piccola presa a coccodrillo da impiegare per collegare la sonda al polo freddo, di terra, del circuito di cui si vogliono analizzare le forme d'onda.

Questo coccodrillo verrà assicurato alla ghiera di massa del connettore BNC del canale 2.

Al solito, le diciture del pieghevole riportato alla fine del testo permetteranno al lettore di riconoscere la posizione dei comandi, in modo da seguire quanto viene consigliato nell'esercizio n° 3 per rivedere l'impiego dei comandi della sezione verticale.

ESERCIZIO N° 3

I comandi del sistema verticale

Per sperimentare i comandi della sezione verticale di un oscilloscopio bisogna disporre di un segnale da applicare ai circuiti di ingresso dei Canali 1 e 2.

Ma gli oscilloscopi meglio dotati hanno sempre a disposizione un generatore incorporato nei loro circuiti; è quello ad onda quadra che viene impiegato per la taratura delle sonde.

Possiamo così procedere ad una rapida verifica del funzionamento e dei comandi della sezione verticale del nostro oscilloscopio.

Compensazione della sonda.

Si procede come segue:

1) *una volta acceso lo strumento si attende per qualche minuto che i circuiti vadano al loro regime termico. Dopo di che si ruota in senso orario il commutatore CH1 VOLT/DIV sino al passo contrassegnato dalla dicitura 0,5 Volt.*
   Dato che il "probe", la sonda cioè, impiegato è di tipo passivo ad attenuazione 10 X del segnale, occorre ricordarsi di leggere il valore di scala suddetta (0,5 Volt), in corrispondenza della finestrella chiara di destra prevista appunto per le sonde 10 X.

2) *si posiziona la levetta del commutatore di accoppiamento del canale 1 su AC.*

3) *se il segnale non viene tracciato in modo stabile sullo schermo, basta ruotare il comando LEVEL nella sezione di trigger (A TRIGGER LEVEL nel caso del modello TEK 2215), fino a che la traccia non si stabilizza, provocando così l'accensione della spia luminosa TRIG D.*
   È il momento, ora, di intervenire sui comandi AUTO FOCUS e AUTO INTENSITY se si ritiene necessario, rispettivamente, rendere più netta la traccia o ritoccare la luminosità.

4) *a questo punto si può procedere alla compensazione della sonda. Si introduce un piccolo cacciavite nella scatoletta alla base della sonda e si regola il piccolo compensatore ivi contenuto fino a che i tetti superiori ed inferiore delle onde quadre non siano divenuti piatti e paralleli alle linee orizzontali del reticolo dello schermo. Per collegare la sonda si seguono le indicazioni di cui alla figura 6.*
   Per avere, se il caso, ulteriori informazioni sulle sonde e la loro compensazione si può consultare invece il capitolo 5.

Controllo della sensibilità verticale

Il segnale emesso dal generatore per la messa a punto delle sonde fornisce un'onda quadra di circa 0,5 Volt di ampiezza picco-picco; si opera quindi con un "fattore di scala", per il canale 1, di 0,5 Volt per divisione. Ciò significa in pratica che ciascuna delle divisioni fondamentali del reticolo rappresenta ora mezzo Volt.

Ciò premesso si procede come segue:

1) *si utilizza il comando POSITION relativo al Canale 1 per fare coincidere il tetto inferiore dell'onda quadra con la linea orizzontale di centro del reticolo di misura.*
   Il tetto superiore dell'onda quadra sfiorerà quasi la linea orizzontale del reticolo relativa alla prima divisione di scala verso l'alto; ciò capita appunto perchè il generatore dell'onda quadra di taratura non emette un segnale tarato in tensione ma di valore solo all'incirca vicino ai 0,5 Volt.

2) *si ruota il commutatore VOLT/DIV di due scatti verso destra. Il fattore di scala del Canale 1 diviene così 0,1; con ciò il segnale di 0,5 Volt viene ora presentato sullo schermo con cinque divisioni in ampiezza.*

3) *si ruoti ora verso sinistra il comando CAL manovrando il bottoncino rosso alla sommità del commutatore CH 1 VOLT/DIV in modo da spostarlo dalla sua posizione di blocco a fine corsa... Con ciò il passo di commutazione resta starato come sensibilità di canale. Dato che il campo di regolazione, se CAL viene ruotato tutto a sinistra, è di circa 2,5 volte in meno, l'operatore vedrà in pratica la sua forma d'onda scendere in ampiezza sino a circa due divisioni di reticolo.*
   Se non sono proprio due divisioni nulla di strano; bisogna tenere presente che questo comando viene impiegato per fare delle misure per paragone e non per consentire delle misure dirette di ampiezza; per conseguenza il campo di regolazione non è per nulla critico. Si riporti il comando CAL nella sua primitiva posizione al fine corsa della rotazione verso destra, in senso orario, fino alla sua posizione di blocco meccanico.

Come accoppiare il segnale all'ingresso dei canali

Si procede come segue:

1) *si sposta la levetta del commutatore di accoppiamento del canale su GND e si riporta la traccia al centro del reticolo. Se si ritorna ora sulla posizione AC si noterà che la forma d'onda è ora centrata sullo schermo. Se si ruota il commutatore di portata, fino al passo marcato con 0,5 V si noterà che la forma d'onda è*

sempre centrata rispetto alla linea di riferimento, sul reticolo, che corrisponde a zero Volt.

2) *si sposti ora su DC la levetta del commutatore di accoppiamento. Il tetto inferiore della forma d'onda si appoggerà ora sulla linea di zero e quello superiore si porterà circa all'altezza della prima divisione verso il basso.*
Si può così notare la differenza tra l'accoppiamento in AC e quello in DC. L'accoppiamento in alternata (con AC), blocca la componente continua e permette di misurare solo un 0,5 Volt picco-picco, centrato sullo schermo a cavallo della linea di zero al centro dello schermo.
L'accoppiamento in continua (DC), consentirà invece di constatare che la componente in continua dell'onda quadra è negativa rispetto a terra; ciò è reso possibile dal fatto che l'accoppiamento in continua lascia passare tutte le componenti del segnale.

I comandi del vertical mode

Sinora abbiamo considerato solo la traccia relativa al canale 1, ma lo strumento consente l'impiego di due canali.

1) *mettiamo quindi al lavoro anche il canale 2; per fare ciò basta porre su CH2 la levetta del commutatore di sinistra presente nel riquadro VERTICAL MODE della sezione verticale.*
Il commutatore relativo all'ingresso del canale 2 è rimasto su GND, sulla posizione cioè da noi scelta nel corso delle operazioni preliminari di impostazione dei comandi dell'oscilloscopio.
Per conseguenze con questo ingresso cortocircuitato a massa, si vedrà solo la traccia di riferimento relativa al livello zero. Con il comando POSITION del canale 2 faremo coincidere questa traccia con la linea relativa alla seconda divisione a partire dal limite superiore dello schermo.

2) *possiamo quindi alternativamente esaminare a piacere, se lo riteniamo utile, o la traccia relativa al canale 1 o quella del nostro commutatore del canale 2; basta spostare opportunamente la levetta sulla posizione relativa al canale desiderato.*
Se desideriamo invece vedere entrambe le tracce contemporaneamente basterà porre questa levetta sulla posizione BOTH.
A questo punto però è necessario che l'operatore scelga il sistema di scansione (alternato con levetta su ALT, o continuamente commutato con levetta su CHOP), con cui desidera lavorare.
Se si sceglie di lavorare con scansione alternata, con levetta su ALT, ciò vorrà dire che il pennello elettronico del tubo a raggi catodici percorrerà la traccia relativa al canale 1 e poi quella relativa al canale 2 e così via così rapidamente che l'occhio dell'operatore vedrà entrambe le tracce luminose ferme e stabili sullo schermo.
Nel nostro caso si vedrà la traccia orizzontale del canale 2 collocata in corrispondenza alla seconda divisione del verticale a partire dall'alto e l'onda quadra del canale 1 nella prima divisione inferiore del reticolo a partire dalla linea di riferimento di zero.
Per verificare che su ALT si ha una scansione alternata delle tracce relative ai due canali, basta spostare il commutatore SEC/DIV della sezione orizzontale, in senso antiorario, sino al passo 0,1 sec. La velocità di scansione infatti sarà così di un decimo di secondo per divisione e si vedrà quindi in pratica un punto luminoso scandire alternativamente l'onda quadra del canale 1 e poi la traccia lineare del canale 2.
Prima, si badi bene, viene scandito per un canale "tutto" il percorso della traccia e solo dopo che questa scansione avrà terminato "completamente" il relativo tratto sullo schermo, ha inizio la seconda scansione per l'altro canale relativo, essa pure, a "tutto" il percorso della seconda traccia.

3) *conviene ora tornare, con il commutatore SEC/DIV della sezione orizzontale, allo scatto contrassegnato con 0,5 ms. Ciò fatto si sposterà su CHOP la levetta del commutatore di destra del VERTICAL MODE. Il risultato, quanto a visione di tracce sullo schermo, sarà del tutto eguale a quello ottenuto con la posizione ALT, anche se il sistema di scansione è del tutto diverso.*
Questa volta infatti le nostre forme d'onda, quella del canale 1 e l'altra del canale 2, vengono in pratica "tagliuzzate" (è il significato letterale del termine inglese CHOPPED), da un sistema di scansione che alternativamente provvede:
   - *prima alla scansione di una piccola porzione di una delle forme d'onda di un canale.*
   - *successivamente alla scansione di un altro pezzetto, con eguale tempo di scansione, ma dell'altra forma d'onda dell'altro canale. E così via con una frequenza di "tagliuzzamento" (CHOPPING), che è relativamente, piuttosto elevata (di 250 KHz per la serie TEK 2200); in sostanza il circuito deviatore del pennello elettronico che, con la posizione ALT, interviene solo alla fine del percorso della traccia, con la commutazione su CHOP interviene invece continuamente lungo il percorso delle tracce con una frequenza molto elevata, tanto elevata che il nostro occhio non la distingue e percepisce quindi solo la visione delle due tracce ben ferme e stabili sullo schermo.*
   Anche in questo caso c'è una manovra però che rivela il CHOPPING, il "tagliuzzamento" cioè delle forme d'onda; basta portare il comando SEC/DIV della sezione orizzontale sullo scatto corrispondente a 10 µs.
   Le due tracce compariranno allora composte en-

ESERCIZIO N° 3 (Continua)

trambe come da una successione di tratti luminosi, manifestazione appunto di quel "tagliuzzamento" o "CHOPPING" cui si è accennato prima nel testo. Per di più, regolando opportunamente uno dei comandi di POSITION verticali, sarà possibile portare verticalmente una traccia sull'altra. Sarà così possibile verificare che i tratti luminosi che compongono una traccia si inseriscono esattamente negli intervalli presenti tra ogni tratto luminoso ed il successivo dell'altra traccia.

È chiaro ora che con la posizione CHOP si possono vedere bene, e cioè con andamento continuo, solo le forme d'onda di frequenza relativamente bassa che non richiedono appunto scansioni troppo veloci dell'ordine di qualche microsecondo per divisione di reticolo.

Con la posizione ALT invece si esamineranno bene solo le forme di onda di frequenza relativamente elevata. Una bassa frequenza di ripetizione rivelerebbe infatti l'alternanza di analisi tra una traccia e l'altra con un fastidioso "sfarfallio" delle tracce ("flicker effect"), che affatica gli occhi e rende la traccia apparentemente instabile e quasi saltellante.

4) *si riporti ora il comando SEC/DIV sullo scatto 0,5 ms. Resta una sola posizione da sperimentare: ADD. Con la levetta del commutatore di destra del VERTICAL MODE su questa posizione si può ottenere una sola traccia che corrisponde ad un segnale risultante dalla somma algebrica dei segnali relativi ai due canali e cioè*

CH1 + CH2 o CH1 − CH2

Per verificare basta inserire una sonda anche per il canale 2 e collegarla, essa pure, alla sorgente di segnale ad onda quadra contrassegnata con PROBE/ADJUST.

Una volta compensata anche questa seconda sonda e portato su 0,5 Volt anche il comando VOLT/DIV di CH2, compariranno sullo schermo due tracce eguali, a forma d'onda quadra, che impegneranno ciascuna una sola divisione del reticolo in altezza.

Ebbene, commutando ora su ADD si avrà invece una sola traccia che impegnerà in altezza due divisioni del reticolo proprio perchè corrisponderà alla somma CH1 + CH2 dei due segnali.

Se ora si premerà il tasto INVERT (è presente sul pannello frontale dello strumento sulla sinistra del comando VOLT/DIV di CH2), si otterrà invece solo una traccia lineare di livello zero, proprio perchè la traccia rappresenterà la differenza dei due segnali secondo l'espressione

CH1 − CH2

CAPITOLO 3
LA SEZIONE ORIZZONTALE

Per potere tracciare un grafico nel piano cartesiano l'oscilloscopio deve utilizzare delle informazioni per l'asse orizzontale, o X da correlare a quelle che, come abbiamo visto, gli vengono inviate per l'asse verticale, o Y, dal sistema verticale.

La sezione orizzontale dell'oscilloscopio fa fronte a questa necessità provvedendo alla generazione della tensione che provoca, orizzontalmente appunto, lo spostamento da sinistra a destra del fascetto di elettroni che scorre sulla traccia luminosa dello schermo.

Allo scopo la sezione orizzontale (vedi figura 8), viene realizzata con uno «Sweep generator» o generatore di scansione; esso produce una forma d'onda a denti di sega, detta pure a "rampa" (vedi figura 7), che viene utilizzata per comandare la ripetuta e programmata scansione del fascetto di elettroni lungo l'asse X dello schermo dell'oscilloscopio.

È proprio il generatore di scansione che rende possibili la eccezionale serie di prestazioni tipiche ormai di ogni moderno oscilloscopio.

In particolare va ricordato che il circuito che permette la linearità di andamento del tratto in salita della rampa di scansione (si tratta di una miglioria introdotta per la prima volta dalla TEKTRONIX), può venire considerato come uno dei più importanti passi in avanti mai verificatosi nella tecnica oscilloscopica.

Esso ha infatti consentito che il movimento in orizzontale del fascetto di elettroni potesse venire calibrato direttamente in unità di tempo.

Ciò ha permesso in pratica di misurare con molta maggiore precisione, sullo schermo oscilloscopico, l'intervallo di tempo che può intercorrere tra due distinti eventi.

Proprio perchè è calibrato in tempi, il generatore di scansione è spesso denominato come «time base» o asse tempi. Esso consente di scegliere i tempi di scansione più adatti sia analizzando il segnale per tempi molto brevi, dell'ordine dei microsecondi o nanosecondi, che per tempi relativamente molto più lunghi dell'ordine di vari secondi.

Il pieghevole alla fine del testo permette di considerare i comandi della sezione orizzontale dell'oscilloscopio modello TEK 2213.

Il comando POSITION relativo alla posizione orizzontale delle tracce è situato nella parte superiore del pannello ed il comando HORIZONTAL MODE è disposto appena più sotto.

Il comando di magnificazione e di velocità di variazione continua della scansione è costituito da una piccola manopola di colore rosso disposta al centro del commutatore SEC/DIV.

Nella parte inferiore del riquadro che racchiude, sul pannello frontale dell'oscilloscopio modello TEK 2213, i comandi della sezione orizzontale, sono disposti i commutatori del DELAY TIME e del MULTIPLIER del tempo di ritardo.

L'oscilloscopio modello TEK 2215 è invece dotato di due comandi concentrici SEC/DIV per il doppio asse tempi e di un comando B DELAY TIME POSITION in luogo del commutatore per i tempi di ritardo e del moltiplicatore, tipici del modello TEK 2213. I comandi dell'oscilloscopio che vengono impiegati per definire la posizione, sulla forma d'onda, dell'inizio di una scansione ritardata sono spesso definiti anche come moltiplicatori del tempo di ritardo («delay time multipliers» o «DTM 1»).

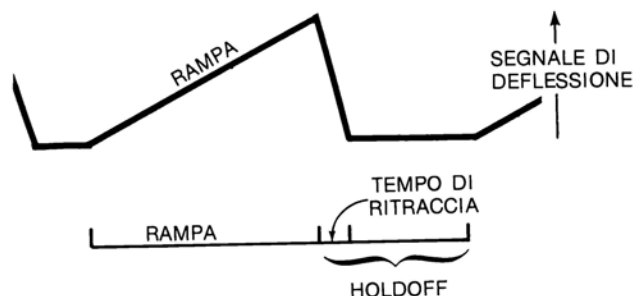



Figura 7

Il sistema orizzontale dà luogo alla tensione a denti di sega indicata in figura. Il tratto in salita di questa forma d'onda viene detto comunemente "RAMPA". È la tensione di deflessione, governata nel tempo dall'andamento della rampa, che comanda il progressivo spostamento del pennello elettronico dalla sinistra alla destra dello schermo.

Dopo la rampa si ha un intervallo di tempo, detto di "HOLDOFF", che comprende:

- *il tempo di "ritraccia" durante il quale il pennello elettronico del tubo a raggi catodici torna alla sua posizione iniziale alla sinistra dello schermo.*
- *un tempo di inattività che, opportunamente regolato con un comando, può favorire il funzionamento, in alcuni casi particolari, della sezione di trigger. Per questo motivo il comando di holdoff è, di solito, raggruppato assieme a quelli della sezione di trigger.*

  Solo durante la scansione, governata dalla rampa, si ha la visualizzazione della traccia sullo schermo dell'oscilloscopio; durante il tempo di holdoff infatti, l'emissione degli elettroni dal pennello elettronico viene sensibilmente ridotta tramite un "circuito di spegnimento" o di "cancellazione" (che, in lingua inglese, viene detto "blanking").

POSIZIONE ORIZZONTALE DELLE TRACCE

Il comando POSITION è analogo a quello utilizzato nella sezione verticale, e permette di regolare in orizzontale la disposizione delle tracce sullo schermo del tubo a raggi catodici.

MODALITÀ DI LAVORO DELL'ASSE TEMPI ORIZZONTALE

Gli oscilloscopi presenti sul mercato con un solo asse tempi consentono una sola modalità di lavoro in orizzontale, ma il modello TEK 2215 consente invece di lavorare sia con traccia normale, che intensificata ed espansa dopo il ritardo.

Gli oscilloscopi a doppia asse tempi (asse A ed asse B), come il modello 2215, consentono di scegliere a piacere tra la visione della forma d'onda scandita dall'asse A o B. La scansione ottenuta con l'asse A infatti, non è ritardata (così come avviene di solito negli oscilloscopi con un solo asse tempi), mentre la scansione con l'asse B viene fatta partire solo dopo un dato tempo di ritardo, variabile a piacere.

Alcuni oscilloscopi a doppia base tempi, e il modello TEK 2215 è tra questi, fanno ancora di più e consentono infatti la visione contemporanea delle due tracce:

- quella scandita con l'asse tempi A con un tratto intensificato come luminosità e corrispondente alla porzione di forma d'onda scandita all'asse B.
- quella scandita dall'asse tempi B che permette la visione espansa a piacere di ogni particolare della forma d'onda in esame.

Questa modalità di lavoro è detta "scansione alternata in orizzontale" (o "alternate horizontal operating mode"), appunto perchè alternativamente, prima si provvede alla scansione con l'asse tempi A che dà luogo ad una traccia e successivamente alla scansione dell'asse B con la comparsa sullo schermo di un'altra traccia, ad esso relativa, disposta ad una certa distanza dalla prima in verticale sullo schermo del tubo a raggi catodici.

Questa particolare prestazione vale sia per le forme d'onda visualizzate con il canale 1 che per quelle del canale 2. Al limite quindi sullo schermo del modello TEK 2215 potranno comparire quattro tracce contemporanee e distinte spaziate fra loro.

In questi primi pochi capitoli per semplicità il testo tratterà solo di forme d'onda analizzate in modo normale senza scansione ritardata.

Il commutatore dell'HORIZONTAL OPERATING MODE sarà così previsto solo sulla posizione NO DLY ("no delay" e cioè senza ritardo), nel caso del modello TEK 2213 e su A (e cioè per la scansione del solo asse tempi A), per il modello TEK 2215.

Nel capitolo 9 della seconda parte vengono descritte le modalità con cui si procede alle misure con scansione ritardata.

VELOCITÀ DI SCANSIONE

Il commutatore con passi tarati in secondi/divisione, permette di scegliere in pratica la velocità di scansione e per conseguenza il numero di volte al secondo con cui viene scandita, sullo schermo, la forma d'onda. Utilizzando vari passi di commutazione a piacere del comando SEC/DIV sarà possibile quindi analizzare il segnale per tempi più o meno lunghi.

Così come nel caso del commutatore VOLT/DIV della sezione verticale dell'oscilloscopio, anche le diciture relative ai tempi che contrassegnano i passi del comando SEC/DIV andranno considerate come dei fattori di scala. Se il comando SEC/DIV cioè viene ruotato in modo che il suo indice si arresti sulla dicitura 1 ms, ciò sta a significare che ciascuna delle divisioni più grandi in orizzontale sullo schermo rappresenta 1 millisecondo e che tutta la larghezza dello schermo, con 10 divisioni, vale, per l'operatore che maneggia l'oscilloscopio, nè più nè meno di 10 millisecondi.

Nel modello TEK 2215, che dispone di due assi tempi, si hanno a disposizione due comandi SEC/DIV.

Il comando relativo all'asse tempi A può venire ruotato e posto con l'indice su una qualsiasi a piacere delle portate in tempi che appena più avanti elencheremo nel testo; l'asse tempi B invece, opera sí sulle stesse portate, ma solo nel campo dai 0,05 microsecondi per centimetro ai 50 millisecondi per centimetro.

Tutti gli strumenti della serie TEKTRONIX 2200 dispongono di una serie di portate come tempi di scansione, in sequenza di rapporti di scala 1-2-5, dal mezzo secondo per divisione a 0,05 microsecondi per divisione.

Le diciture corrispondenti ai passi di commutazione che compaiono negli oscilloscopi sono le seguenti:

.5s	mezzo secondo
.2s	0.2 secondi
.1s	0.1 secondi
50 ms	50 millisecondi (0.05 secondi)
20 ms	20 millisecondi (0.02 secondi)
10 ms	10 millisecondi (0.01 secondi)
5 ms	5 millisecondi (0.005 secondi)
2 ms	2 millisecondi (0.002 secondi)
1 ms	1 millisecondo (0.001 secondi)
.5 ms	mezzo millisecondo (0.0005 secondi)
.2 ms	0.2 millisecondi (0.0002 secondi)
.1 ms	0.1 millisecondi (0.0001 secondi)
50 µs	50 microsecondi (0.00005 secondi)
20 µs	20 microsecondi (0.00002 secondi)
10 µs	10 microsecondi (0.00001 secondi)
5 µs	5 microsecondi (0.000005 secondi)
2 µs	2 microsecondi (0.000002 secondi)
1 µs	1 microsecondo (0.000001 secondi)
.5 µs	mezzo microsecondo (0.0000005 secondi)
.2 µs	0.2 microsecondi (0.0000002 secondi)
.1 µs	0.1 microsecondi (0.0000001 secondi)
.05 µs	0.05 microsecondi (0.00000005 secondi)

Gli oscilloscopi hanno a disposizione anche un passo di commutazione, del comando SEC/DIV, marcato XY; ad esso corrisponde la possibilità di operare con i due canali (1 come X e 2 come Y), in presentazione X-Y come verrà descritto nel capitolo 9.

LA POSSIBILITÀ DI VARIARE CON CONTINUITÀ LA VELOCITÀ DI SCANSIONE

È possibile scegliere una qualsiasi velocità di scansione intermedia tra le portate relative ai vari passi di commutazione del comando SEC/DIV ruotando in senso antiorario la manopola rossa, con su inciso VAR, coassiale al comando stesso.

Questo comando infatti, se completamente ruotato, riduce la velocità di scansione nel rapporto 2,5 a 1; come più bassa velocità di portata non è più da considerare, quindi, il 0,5 sec. elencato più sopra, ma 0,5 x 2,5 = 1,25 secondi per divisione.

Occorre ricordare che per potere disporre di portate tarate è necessario ruotare del tutto in senso orario la manopolina rossa marcata VAR sino a che il comando non si ferma nella sua posizione di blocco di fine corsa.

LA MAGNIFICAZIONE IN ORIZZONTALE

Molti oscilloscopi, consentono, in vario modo, di espandere in senso orizzontale in un dato rapporto (5X, 10X e più ancora), la forma d'onda visualizzata sullo schermo del tubo; questa prestazione è detta "magnificazione".

Ciò equivale a moltiplicare la velocità di scansione per la magnificazione stessa. Nella serie TEKTRONIX 2200, ad esempio, si dispone di una magnificazione orizzontale di 10X; essa può venire introdotta tirando in fuori la manopolina rossa, marcata VAR, già citata per la variazione continua della velocità di scansione.

Una magnificazione 10X consente quindi una velocità di scansione al limite dieci volte più veloce del più alto valore commutabile con il comando SEC/DIV; si può così passare dai

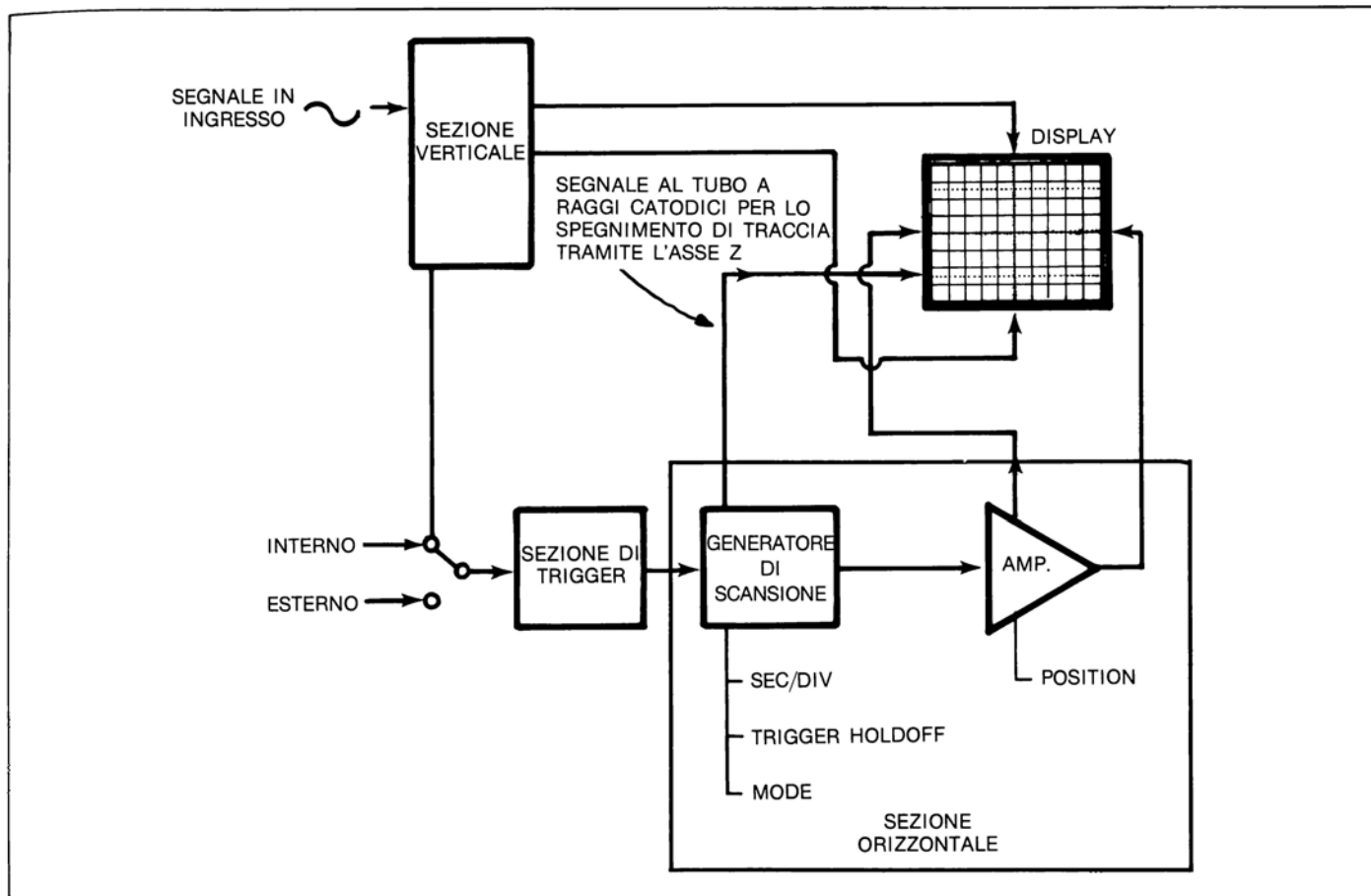



Figura 8

Il sistema orizzontale (presentato in figura entro il riquadro), comprende il generatore di tensione di deflessione a denti di sega ed un amplificatore che permette l'alimentazione, in controfase, delle placchette di deflessione verticali del tubo a raggi catodici. Il generatore della tensione di scansione a denti di sega, con un apposito circuito, provvede a comandare anche l'asse Z del tubo a raggi catodici in modo da bloccare in pratica l'emissione del fascetto di elettroni, e quindi la luminosità della traccia, durante il tempo di holdoff (vedi figura 7).
La sezione orizzontale viene governata per tramite dei seguenti comandi:
– SEC/DIV: un commutatore che permette di scegliere i tempi di scansione orizzontale.
– TRIGGER HOLDOFF: un potenziometro che regola il tempo morto di scansione al termine della rampa.
– MODE: un commutatore che consente di scegliere se operare o meno con asse tempi ritardato.
– DELAY TIME: che regola l'eventuale ritardo alla scansione.
– POSITION: un potenziometro che permette la regolazione in orizzontale della posizione della traccia.
Anche questi comandi sono raccolti in una riquadratura sul pannello frontale dello strumento. Si veda allo scopo il pieghevole, al termine del testo, che illustra il pannello frontale dell'oscilloscopio TEK 2213; la fotografia della figura 30, nel testo, illustra invece i comandi del modello TEK 2215.

0,05 microsecondi ai 5 nanosecondi per centimetro; una scansione questa davvero molto veloce. La magnificazione 10X diviene molto utile quando si desideri esaminare dei dettagli di una forma d'onda che, in pratica, risultassero molto vicini l'uno all'altro, con intervalli di tempo anche molto piccoli tra un dettaglio e l'altro.

I COMANDI DI DELAY TIME E MULTIPLIER

Nell'oscilloscopio modello TEK 2213 il ritardo con cui l'assetempi può venire inserito per l'analisi espansa in orizzontale della forma d'onda, viene regolato con i due comandi DELAY TIME e MULTIPLIER che operano assieme; con il primo infatti, si sceglie uno dei tre valori base di tempo di ritardo a disposizione e con il secondo si effettua una regolazione fine.

Queste prestazioni saranno discusse più avanti nel capitolo 9 del testo che tratta delle «misure con asse tempi ritardato».

IL COMANDO B DELAY TIME

Nell'oscilloscopio modello TEK 2215 operano, come si è visto, due assi tempi: l'asse tempi A che scandisce intieramente tutta la forma d'onda in esame e l'asse tempi B che, con velocità di scansione sensibilmente più elevata, viene fatto partire a piacere da un punto qualsiasi della forma d'onda in modo da consentire, a partire da quel punto, una visione espansa dei particolari. Ebbene, è con il comando B DELAY TIME POSITION, realizzato con un potenziometro elicoidale a 10 giri, che si ottiene appunto la regolazione del tempo di ritardo con cui è possibile fare partire l'asse B da un punto qualsiasi a piacere della forma d'onda.

Poichè si ha a disposizione un comando di precisione con manopola finemente graduata è possibile inoltre realizzare delle vere e proprie misure di «ritardo di fase» tra vari punti della forma d'onda.

Tutto ciò verrà trattato per esteso in quella parte del capitolo 9 che si occupa delle «misure con asse tempi ritardato».

IMPIEGO PRATICO DEI COMANDI DELLA SEZIONE ORIZZONTALE

Come potete vedere esaminando lo schema a blocchi della figura 8, il sistema orizzontale dell'oscilloscopio può venire considerato come suddiviso in due parti distinte:

- l'amplificatore orizzontale cui va riferito il comando di POSITION
- il generatore di scansione con i relativi comandi di HORIZONTAL MODE, SEC/DIV, DELAY TIME e TRIGGER HOLDOFF (quest'ultimo presente nel riquadro relativo al trigger).

L'esercizio 4 permetterà al lettore di famigliarizzarsi con i comandi della sezione orizzontale sempre facendo riferimento alle illustrazioni che compaiono nel pieghevole inserito alla fine del testo.

Per prima cosa, comunque, è bene assicurarsi che i comandi del pannello frontale siano così regolati come posizione iniziale;

- il commutatore SEC/DIV va posto su 0,5 ms.
- il comando SOURCE del trigger (comando A/TRIGGER SOURCE per il modello TEK 2215), va posto su AUTO.
- il pulsante INVERT relativo al canale 2 deve risultare nella posizione normale e cioè estratto (senza inversione di polarità del segnale).
- il comando HORIZONTAL MODE va posto su NO DLY, (A per il TEK 2215).

Poichè con quest'ultimo comando si decide di operare senza ritardo di scansione, i comandi relativi restano inefficaci e non interessa la loro posizione iniziale.

ESERCIZIO N° 4

I comandi della sezione orizzontale

Vedremo ora da vicino il funzionamento della sezione orizzontale. Con la predisposizione dei comandi che abbiamo consigliato, procediamo quindi come segue:

1) *Si ponga il commutatore VERTICAL MODE su CH1 e si ruoti il commutatore CH1 VOLT/DIV sul passo corrispondente a 0,5 Volt. Conviene poi assicurarsi che la sonda sia connessa al BNC del canale 1 ed al terminale PROBE ADJUST.*
   Ciò fatto si può dare alimentazione in c.a. all'oscilloscopio. Si porrà quindi su GND la levetta del comando di accoppiamento del canale 1 e si centrerà sullo schermo (con il comando POSITION della sezione verticale), la traccia orizzontale che vi comparirà, dato che si lavora sempre con il commutatore MODE del trigger su AUTO.
   Effettuate queste regolazioni si porterà la levetta dell'accoppiamento del canale 1 su AC.

2) *sullo schermo comparirà la forma d'onda relativa al segnale ad onda quadra impiegato per la messa a punto delle sonde.*
   Con il comando POSITION della sezione orizzontale si farà scorrere la forma d'onda sullo schermo sino a che un fronte di salita venga ad intersecare il centro del reticolo.
   Si esaminerà poi la forma d'onda che compare sullo schermo per rilevare dove il fronte di salita dell'impulso seguente taglia in verticale la linea di base orizzontale al centro del reticolo. Si misurerà così in divisioni di reticolo ed in frazioni di divisione questo tratto orizzontale e se ne annoterà il valore.

3) *si porta ora la velocità di scansione a 0,2 ms agendo sul commutatore SEC/DIV. Si allinea il fronte di salita di un impulso con il limite verticale del reticolo al lato sinistro dello schermo e si misura, in divisioni e frazioni di divisione, il tratto orizzontale del reticolo compreso tra questa prima intersezione e quella relativa al fronte di salita dell'impulso successivo.*
   Si constaterà così che la forma d'onda si è espansa di 2,5 volte proprio perchè la velocità di scansione è passata da 0,5 a 0,2 ms per divisione.
   In pratica il segnale è rimasto lo stesso ma è variato il fattore di scala.

4) *alla sommità del commutatore di scansione SEC/DIV è disposto un bottone rosso marcato CAL con cui si può realizzare una variazione fine del tempo di scansione. Fino a che questa manopola rimane bloccata sul suo arresto meccanico di fine corsa, gli scatti del commutatore restano tarati sui valori di scala.*
   Per esaminare l'effetto di questo comando sposteremo ora la manopola dalla sua posizione di blocco e la ruoteremo avanti ed indietro lungo la sua corsa. Noteremo che la lunghezza di scansione in orizzontale di ogni onda quadra si riduce e che, al limite, scende sino a due volte e mezzo in meno all'incirca del valore iniziale con scansione ancora tarata come tempi.
   Si riporta ora la manopolina rossa al suo arresto di fine corsa.

5) *si riporta poi il commutatore SEC/DIV su 0,5 ms e si tira in fuori la manopolina rossa marcata CAL.*
   Questo comando inserisce una "magnificazione" di 10 X per la velocità di scansione.
   In altre parole ogni passo di commutazione di SEC/DIV produrrà una scansiòne dieci volte più ampia del valore di scala. Tanto per fare un esempio la scansione invece di essere di 0,5 ms per divisione diverrà, con la magnificazione 10 X, di 0,05 ms per divisione.

6) *ora che lo strumento visualizza l'onda quadra del generatore interno con la magnificazione 10 X si può agire sul comando POSITION della sezione orizzontale. Il campo di azione di questo comando, come si potrà notare, resta anch'esso moltiplicato per dieci e permetterà di fare sfilare sullo schermo tutta la forma d'onda con la possibilità di rilevarne a piacere ogni dettaglio.*
   Si riporti ora l'oscilloscopio alla normale scansione premendo il bottoncino rosso disposto alla sommità della manopola del comando di scansione SEC/DIV.

CAPITOLO 4

LA SEZIONE DI TRIGGER

Nel primo capitolo abbiamo spiegato come la sezione di visualizzazione fa sí che, sullo schermo del tubo a raggi catodici, compaia una figura corrispondente, come andamento nel piano cartesiano, alla forma d'onda che si desidera analizzare.

Come abbiamo già visto, affinchè ciò sia possibile, la sezione verticale fornisce all'asse Y le informazioni verticali relative alla forma d'onda ed il sistema orizzontale provvede alla generazione dei segnali necessari alla scansione dei tempi sull'asse X.

In altre parole, il lettore ormai sa ora come fa l'oscilloscopio a riprodurre la forma dell'onda in esame; gli manca solo di sapere "quando" ciò avviene; "quando" cioè gli altri circuiti dell'oscilloscopio fanno partire la scansione del segnale e "quando" no.

Alla definizione di questi tempi di intervento provvedono i complessi ed importanti circuiti di "sgancio" ("trigger"), dell'asse tempi.

Essi sono importanti per tutta una serie di valide ragioni:

- anzitutto perchè uno degli scopi dell'oscilloscopio è quello di fornire informazioni correlate al tempo.
- in secondo luogo (ed è una ragione egualmente importante), perchè il trigger fa sì che ogni scansione dell'asse tempi parta sempre con lo stesso "quando".

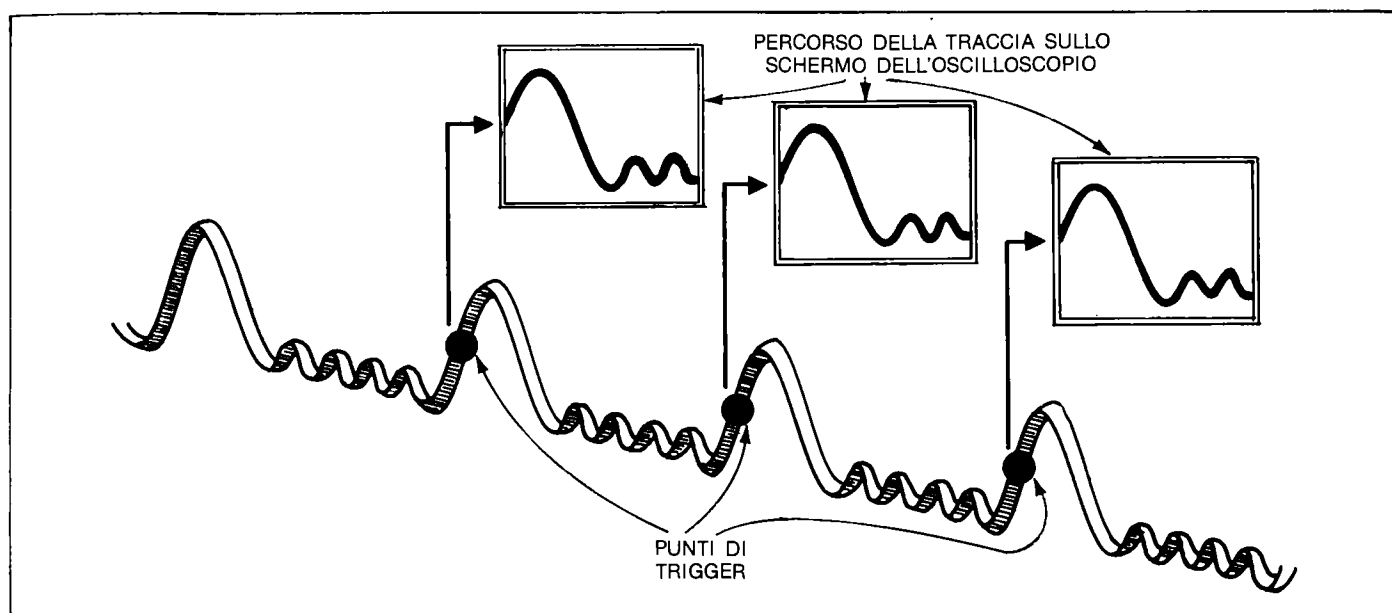



Figura 9

La visione nitida e stabile della forma d'onda che compare sullo schermo dell'oscilloscopio è provocata dal continuo e ripetuto passaggio del pennello di elettroni del tubo a raggi catodici, sempre sulla stessa traccia.

La figura mostra appunto un treno di forme d'onda con indicato su ciascuna di esse sempre "lo stesso punto di trigger" che dà luogo sempre "allo stesso percorso di traccia" sullo schermo dell'oscilloscopio. Si noti che il punto di trigger è riferito ad un livello piuttosto elevato e ad una pendenza positiva; è solo il fronte di salita iniziale quindi della prima parte della forma d'onda, che può far partire la scansione.

Poichè ogni volta che si raggiunge il livello di trigger la sezione orizzontale fa partire una scansione, sarà l'insieme delle tracce relative, continuamente sovrapposte, che permetterà la visione della forma d'onda in esame.

Perchè un oscilloscopio di tipo normale (del tipo cioè di quello che stiamo appunto spiegando in dettaglio), possa funzionare è necessario quindi che la forma d'onda del segnale che si desidera analizzare sia di tipo "periodico" od almeno "ripetitivo".

Per visualizzare le forme d'onda di segnale non ripetitivi occorrono invece speciali oscilloscopi dotati di un dispositivo di "memoria".

Ovviamente la figura luminescente, la traccia cioè che compare sullo schermo dell'oscilloscopio, è diversa, varia come prestazione al variare del tempo con cui si lavora sull'asse X (orizzontale), e dell'istante di tempo in corrispondenza del quale si effettua lo sgancio (trigger), dell'asse tempi. Se si opera con il comando SEC/DIV posto su 0,05 µs l'oscilloscopio darà luogo ad una traccia ogni 0,5 µs (0,05 µs cioè per ognuna delle divisioni di scala che, in orizzontale, sono 10).

Ciò significa in pratica che il pennello elettronico percorrerà la traccia per ben due milioni di volte ogni secondo, senza contare i tempi di ritorno di traccia e di hold-off che sono trascurabili rispetto al tempo effettivo impiegato per percorrere la traccia. Ci si può quindi immaginare la confusione di tracce che si avrebbe sullo schermo del tubo se ogni scansione partisse con un tempo diverso.

Ma ogni scansione sullo schermo del tubo a raggi catodici, da sinistra a destra, partirà sempre allo stesso istante, con lo stesso riferimento di tempo, se l'operatore si preoccuperà di regolare correttamente la posizione di comando del sistema di trigger.

Il come è presto detto:

– per prima cosa l'operatore si preoccuperà che i circuiti di trigger prelevino il segnale di sgancio dell'asse tempi (o di trigger), dalla sorgente (SOURCE) di segnale più adatta, da scegliere caso per caso. Se, ad esempio, si decide di fare lavorare l'asse tempi con un segnale di trigger esterno, sarà necessario connettere i circuiti di trigger con i comandi relativi al circuito di ingresso di questo segnale (che verrà quindi prelevato con una apposita sonda connessa al relativo connettore sul pannello frontale).

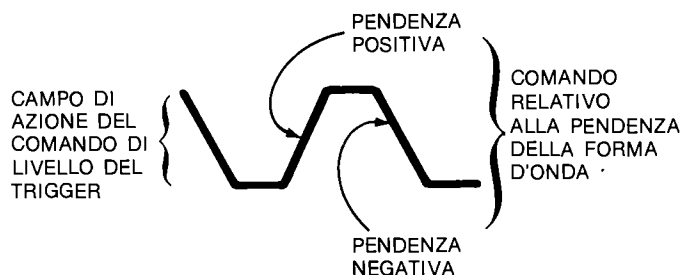



Figura 10

I comandi di livello (LEVEL), e pendenza (SLOPE), della sezione di trigger vengono utilizzati per definire il "punto di trigger".

In pratica, come si può notare in figura, la pendenza viene considerata positiva o negativa (ed indicata a volte con un + od un – sul pannello frontale di comando), rispettivamente se riferita ad un "fronte di salita" o di "discesa" della forma d'onda.

Il controllo di livello opera su tutto il fronte di salita o di discesa e sceglie appunto il livello che deve venire raggiunto perchè parta l'asse-tempi della sezione orizzontale; con la forma d'onda a dente di sega esso comanda poi a sua volta la deflessione, in orizzontale, del fascetto di elettroni emesso dal tubo a raggi catodici.

– in secondo luogo sarà necessario fare in modo che i circuiti del sistema di trigger si riferiscano, per intervenire, ad un particolare livello di tensione del segnale di trigger, agendo allo scopo con i comandi che permettono di scegliere la pendenza (SLOPE) del segnale ed il livello (VAR VOLTAGE) di trigger. In tal modo tutte le volte che si arriverà a questo particolare livello, si avrà lo sgancio (trigger), dell'asse trempi; questo potrà così ogni volta, iniziare a fornire la sua tensione di comando all'asse X in modo che la traccia cominci a spostarsi dalla sinistra alla destra dello schermo.

La figura 9 dà un'idea di come si svolgono in pratica le cose. Gli oscilloscopi del tipo di quelli portatili della serie TEKTRONIX 2200 operano con una varietà di comandi di trigger.

Oltre a quelli qui già esaminati, nella sezione di trigger si utilizzano anche altri due comandi che hanno il compito:

– di consentire la scelta delle modalità di lavoro (con il commutatore MODE), più conveniente.

– di stabilire per quanto tempo il circuito di scansione deve attendere prima di venire di nuovo sganciato (comando di HOLDOFF).

La posizione dei vari comandi sin qui esaminati è illustrata dal pieghevole a disposizione alla fine del testo. Essi sono tutti racchiusi entro una cornice disposta sul lato estremo di destra del pennello frontale dell'oscilloscopio.

Nel caso del modello TEK 2213 il comando VAR HOLDOFF è quello disposto più in alto; il commutatore a levetta MODE è posto immediatamente più sotto. Più sotto ancora sono raggruppati: a sinistra il comando di SLOPE e sulla destra invece il potenziometro LEVEL che permette di scegliere il più conveniente livello di trigger.

Seguono, ancora più in basso, tre commutatori a levetta che permettono di scegliere tra le varie sorgenti di segnale di trigger a disposizione.

La colonna dei comandi di trigger termina infine con il connettore BNC che permette di introdurre nell'oscilloscopio un eventuale segnale esterno di trigger.

Nel caso del modello TEK 2215 si ha qualche diversità nella disposizione dei comandi dovuta al fatto che può essere necessario un trigger separato per l'asse Bempi B (vedi Capitolo 9).

LIVELLO E POLARITÀ DEL SEGNALE DI TRIGGER

I comandi di LEVEL e SLOPE definiscono il punto di trigger illustrato in figura 9 in corrispondenza del quale si verifica lo sgancio (trigger) e quindi la partenza dell'asse tempi.

Il comando di SLOPE determina se il punto di trigger deve venire scelto come livello sul fronte di salita o di discesa della forma d'onda. Il comando LEVEL determina invece per quale livello del fronte di onda prescelto si deve verificare lo sgancio e la conseguente partenza dell'asse tempi. Vedi figura 10.

IL COMANDO DI HOLDOFF

Non tutte le forme d'onda possono venire accettate come possibili sorgenti di trigger. Il sistema di trigger infatti non riconosce delle possibilità di sgancio dell'asse tempi (trigger), sia nel corso della scansione che del tempo di ritorno del pennello di elettroni alla sinistra dello schermo (ritraccia), come pure durante un breve periodo di tempi di attesa susseguente che viene denominato comunemente «tempo di Holdoff» o semplicemente «Holdoff».

Il tempo di ritorno della traccia (o ritraccia), come già si è detto nel capitolo precedente, è in sostanza il tempo necessario perchè il pennello di elettroni ritorni al lato sinistro dello schermo del tubo a raggi catodici, in modo da poter poi ripartire per una nuova scansione.

Ebbene, il tempo di Holdoff comporta un ulteriore tempo di attesa in più, dopo la fine della scansione e la successiva ritraccia; esso viene impiegato in pratica per assicurare che si abbia una stabile visualizzazione della forma d'onda in esame, così come indicato in figura 11.

A volte infatti il normale tempo di Holdoff non è sufficiente, come durata, ad assicurare una visione stabile della traccia. Ciò si verifica soprattutto quando il segnale di trigger è costituito da una forma d'onda ripetitiva piuttosto complessa nella quale il trigger può riconoscere più di un punto atto a sganciare l'asse tempi; proprio in quanto si ha a che fare con forme d'onda ripetitive, si possono infatti visualizzare una serie di forme d'onda in luogo dell'unica che si desidera che compaia sullo schermo.

Tipico al riguardo è il caso della serie ripetitiva di impulsi digitali; ogni impulso infatti è eguale agli altri della serie e per conseguenza sono possibili in pratica varie sorgenti e relativi punti di trigger.

Occorre allora avere un dispositivo che verifichi se un punto di trigger può o meno venire accettato come tale; questo dispositivo è appunto il circuito di Holdoff che tramite un suo specifico comando (VAR HOLDOFF), può variare a piacere il tempo relativo di ritardo alla scansione.

La figura 12, nel testo, illustra chiaramente l'utilità del comando di HOLDOFF nel caso di una serie ripetitiva di più impulsi di tipo digitale.

Il comando di VAR HOLDOFF fa parte in sostanza del sistema orizzontale dell'oscilloscopio in quanto il circuito relativo è parte integrante del generatore di scansione (vedi figura 8), ma la sua funzione può divenire essenziale nel corso della messa a punto del trigger; è per questo motivo che, tale comando è stato collocato sul fronte del pannello frontale dell'oscilloscopio, nel riquadro relativo al sistema di trigger.

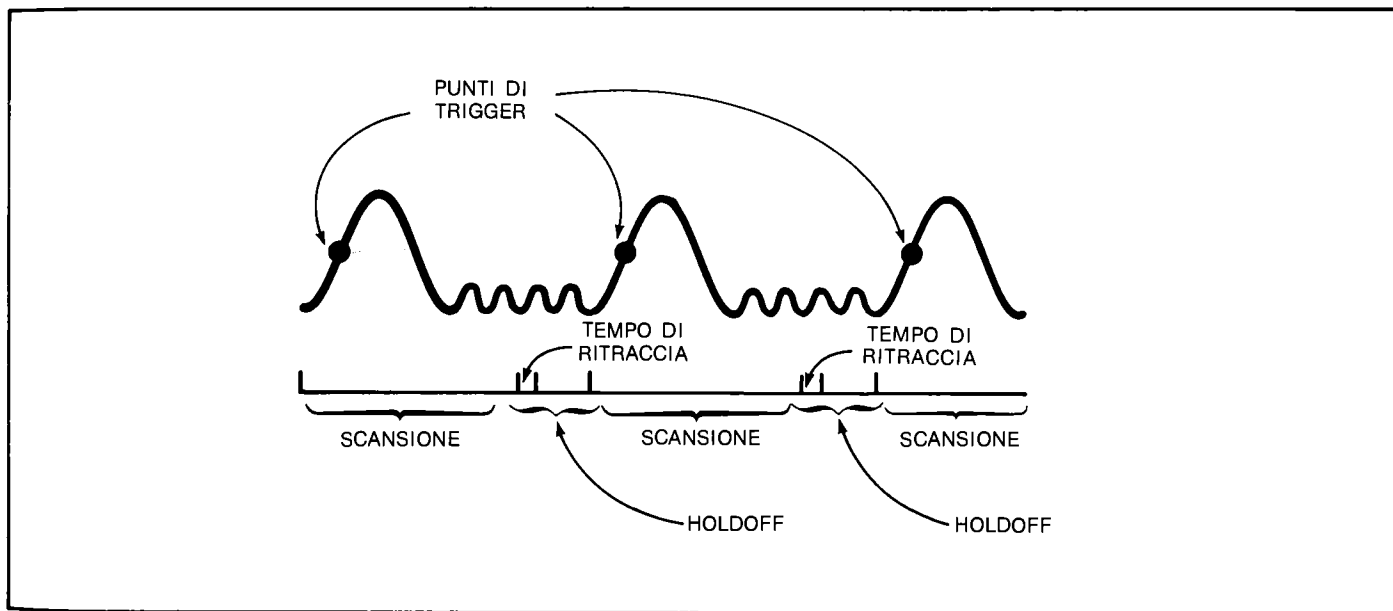



Figura 11

Il tempo di HOLDOFF, intervallo di tempo che intercorre fra una scansione e la successiva, ha il compito di assicurare il valido intervento dei circuiti di sincronismo.

Il tempo di HOLDOFF ha infatti la sua giustificazione nel fatto che, dopo il tempo attivo di scansione (corrispondente alla rampa di salita della tensione a denti di sega generata dall'asse-tempi), si ha la "ritraccia", il ritorno cioè del pennello elettronico al punto di partenza alla sinistra dello schermo; questa "ritraccia" è provocata in pratica dalla rampa di discesa del dente di sega emesso dalla sezione orizzontale.

Per di più, dopo scansione e ritraccia, è necessario anche un breve tempo morto per il riassestamento dell'asse-tempi che deve ritornare nelle condizioni iniziali in modo da essere pronto a ricevere un altro comando di trigger ed a dare luogo ad una nuova scansione.

Durante tutto il tempo di HOLDOFF l'emissione di elettroni dal catodo del tubo a raggi catodici viene interdetta ("blanked" in gergo tecnico inglese), di modo che sullo schermo dell'oscilloscopio compare solo la traccia relativa al tempo attivo di scansione.

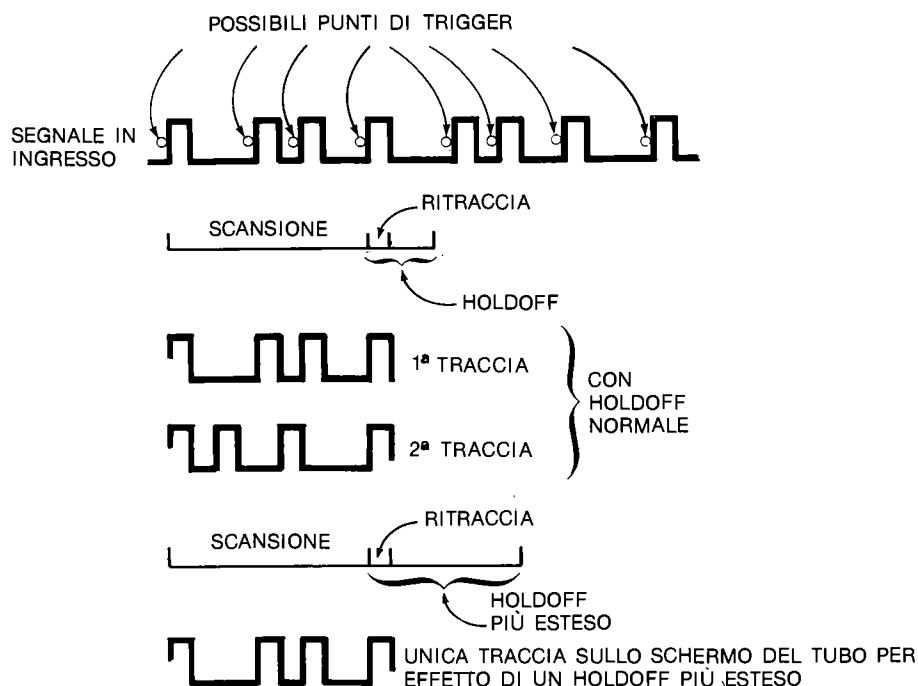



Figura 12

Con il comando di HOLDOFF il "tempo morto" tra una scansione e l'altra può venire aumentato a piacere con un apposito comando; questa prestazione può rivelarsi di importanza decisiva quando si verifichi una incertezza nel riconoscimento del fronte d'onda dal quale conviene ricavare il punto di trigger.
Ciò si verifica, in particolare, quando si debbano riprodurre delle sequenze di impulsi digitali con andamento ripetitivo.
In questo caso, come indicato in figura, può convenire estendere il tempo di HOLDOFF per buona parte della sequenza ripetitiva seguente a quella che ha provocato lo sgancio (il trigger), dell'asse - tempi.
Con questo artificio operativo in pratica basta aumentare man mano con delicatezza il tempo di HOLDOFF perchè ad un certo punto sullo schermo cessi il tipico sdoppiamento della traccia, caratteristico dell'incertezza di trigger.
Una volta che sia cessata la necessità di questo ritocco nel tempo morto di scansione, conviene riportare al suo valore normale il tempo da HOLDOFF ruotando il relativo potenziometro sino all'inizio della corsa contrassegnata dalla dicitura NORM.
Un tempo di HOLDOFF eccessivo può infatti far sì che si abbia non una scansione per ogni forma d'onda in arrivo ma ogni due o più forme d'onda e ciò può, di fatto, ridurre, con una frequenza di scansioni minore, la luminosità della traccia.
Questo inconveniente si verifica, nella pratica operativa, specie quando la velocità di scansione sia stata spinta al massimo per l'analisi dei particolari più minuti della forma d'onda introducendo, se il caso, anche la magnificazione X 10 della scansione.
In queste condizioni il dispositivo di regolazione automatica della luminosità della traccia arriva infatti al limite delle sue possibilità e si verifica una sensibile riduzione di visibilità della traccia; a questo si può però prontamente ovviare riportando il tempo di HOLDOFF al suo valore normale con il relativo potenziometro di comando ruotato, come si è detto, sino all'inizio della corsa in posizione NORM.

LE SORGENTI DI TRIGGER

Le sorgenti di trigger possono venire considerate come divise tra loro in due categorie a seconda che il segnale di trigger sia ricavato dai circuiti interni dell'oscilloscopio o provenga dall'esterno.

Nel caso si lavori con segnale di trigger interno in pratica l'oscilloscopio viene comandato come trigger dalla stessa forma d'onda che viene visualizzata; e ciò comporta l'ovvio vantaggio di consentire contemporaneamente all'operatore sia la visione del segnale in esame che della sorgente di trigger.

La scelta della sorgente di trigger viene ottenuta manovrando due commutatori a levetta a tre posizioni contrassegnati dalle diciture SOURCE e INT. Con il primo commutatore SOURCE posto nella posizione INT il sistema di trigger accede alle fonti interne di segnale.

Se il commutatore INT viene ruotato con la levetta su CH1 o CH2 il segnale di trigger verrà ricavato dal segnale rispettivamente del canale 1 o 2.

Se la levetta di commutazione viene invece posta sullo scatto centrale contrassegnato dalla dicitura VERT MODE, sarà il sistema di impostazione di lavoro della sezione verticale (contrassegnato appunto con la dicitura VERTICAL MODE), a fornire "automaticamente" il segnale di trigger.

Vediamo ora da vicino come ciò avviene.

Se il commutatore di destra nel riquadro contrassegnato VERTICAL MODE del sistema verticale sarà posto sulla posizione CH1 o CH2, questo vorrà dire che come sorgente di trigger viene utilizzato il segnale del canale 1 o del canale 2.

Se il commutatore a levetta viene posto invece nella posizione centrale, in corrispondenza della dicitura BOTH, sarà l'altro commutatore a levetta, sempre a tre posizioni e disposto sulla destra del VERTICAL MODE, a determinare la sorgente di trigger.

Con questo secondo comando posto in posizione ALT, così come viene visualizzato alternativamente sullo schermo prima la forma d'onda di un canale e successivamente quella dell'altro canale, così pure, con la stessa sequenza, verranno utilizzati alternativamente i relativi segnali come fonti di trigger.

In posizione ADD la fonte di trigger sarà invece la somma dei segnali del canale 1 e 2 e lo stesso avverrà per la posizione CHOP in modo da evitare che la frequenza del commutatore elettronico possa venire utilizzato come fonte di segnale per il sistema di trigger.

Come si vede l'insieme dei comandi del VERTICAL MODE si comporta anche come un vero e proprio "dispositivo automatico" per la selezione delle fonti interne di trigger; questo automatismo interviene nello stesso momento in cui l'operatore sceglie, con il sistema verticale, le modalità da impiegare per la presentazione dei vari segnali.

Ma non sempre comunque i segnali relativi alle forme d'onda visualizzate sono sufficienti ad assicurare un corretto sgancio dell'asse tempi. A volte è necessario utilizzare, come fonte di trigger, un segnale proveniente dall'esterno; basta allora portare su EXT il commutatore a levetta marcato SOURCE e provvedere (con una sonda a parte inserita nel connettore BNC EXT INPUT), a fornire al sistema di trigger la relativa sorgente esterna per il segnale di sgancio dell'asse tempi.

Una fonte esterna di trigger può risultare molto utile specie quando, nel corso di un progetto o di una riparazione, ci si debba dedicare all'analisi di forme d'onda ripetitive di tipo impulsivo provenienti da apparati di tipo digitale. La posizione LINE del commutatore SOURCE offre un'ulteriore fonte di trigger: la linea di alimentazione dalla rete a corrente alternata.

Un segnale di trigger proveniente dalla rete a c.a. è utile in tutti i casi in cui si debbono analizzare dei circuiti legati come funzionamento alla frequenza di rete.

Così capita, ad esempio, quando, si lavori sui circuiti di alimentazione da rete o su parzializzatori impulsivi per l'alimentazione di lampade di illuminazione.

Le possibilità, quanto a sorgenti di trigger, degli oscilloscopi della serie 2200 possono comunque venire sintetizzate, come segue, in queste tabelle riassuntive.

Sorgenti di trigger	Posizioni dei commutatori	
	SOURCE	INT
Solo canale 1	INT	CH1
Solo canale 2	INT	CH2
Esterna	EXT	non utilizzato
Linea a c.a.	LINE	non utilizzato
Modalità del sistema verticale (canali 1 o 2 o entrambi)	INT	VERT MODE

MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA DI TRIGGER

I circuiti di trigger degli oscilloscopi della serie TEK 2200 possono funzionare con quattro distinte modalità operative: normale, automatica, segnali televisivi, segnali provenienti dalla sezione verticale.

La modalità operativa forse più impiegata nella pratica è quella definita come "normale" (ad essa corrisponde la dicitura NORM del commutatore MODE).

In effetti si tratta della modalità di lavoro che consente la gamma più vasta di possibilità di trigger dalla corrente continua sino ai 60 MHz. Caratteristica della modalità NORMAL è di non consentire la comparsa della traccia sullo schermo in assenza di segnale in ingresso o di una appropriata regolazione di trigger.

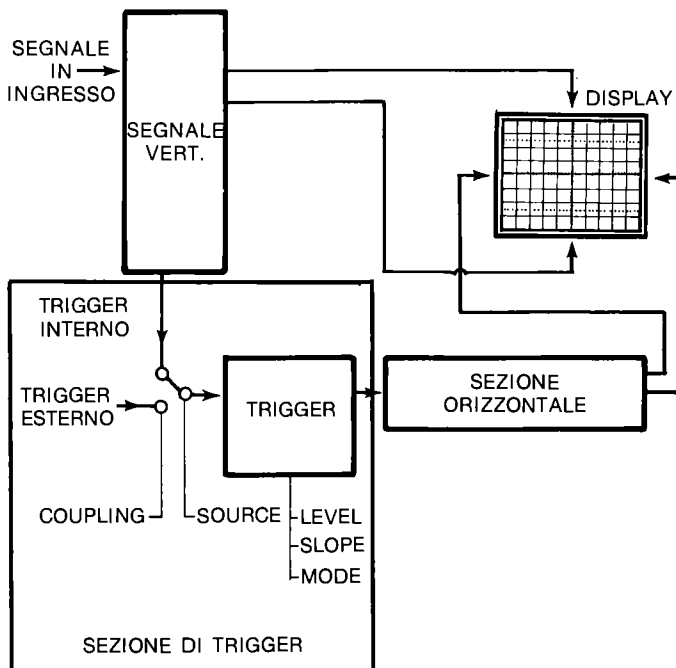



Figura 13

La figura mostra, racchiusa in un riquadro, la sezione di trigger con i suoi comandi e cioè:

- *il comando di LEVEL che consente la scelta del più opportuno punto di trigger.*
- *il comando di SLOPE che permette di scegliere la pendenza del fronte su cui operare per la scelta del punto di trigger.*
- *il comando di MODE che offre varie modalità operative.*
- *il comando di SOURCE che permette di scegliere tra varie sorgenti di segnali atti al sincronismo della scansione.*
- *il comando di COUPLING che consente di accoppiare nel modo più opportuno la sezione di trigger al segnale di sincronismo esterno.*

Il perfetto funzionamento della sezione di trigger è essenziale per il corretto funzionamento dell'oscilloscopio perchè, solo se i sincronismi operano bene, è possibile ottenere una traccia stabile e bene delineata e cioè provocata dal continuo scorrere del pennello elettronico sempre con lo stesso percorso sullo schermo oscilloscopico.

Se invece si opera in modo "automatico" (detto pure "a traccia di base visibile"), contrassegnato infatti con AUTO sul pannello frontale, si ha la seguente sequenza di criteri operativi:

- in assenza di segnali in ingresso all'oscilloscopio o di trigger esterno un apposito segnale di trigger fa partire l'asse tempi.
- al termine della scansione inizia il tempo di holdoff.
- al termine del tempo di holdoff entra in funzione un temporizzatore che genera un tempo di attesa.
- durante questo tempo il circuito di trigger resta infatti in attesa che dall'interno o eventualmente anche dall'esterno dell'oscilloscopio arrivi o meno un segnale di trigger.
- se tale segnale non arriva nell'intervallo di tempo fissato dal temporizzatore un apposito segnale di trigger viene generato e si ripristina la sequenza di criteri operativi sin qui analizzata.

Questa sequenza di scansioni "automatiche" in assenza di segnale di ingresso o di trigger esterno, provoca una traccia lineare di base sullo schermo dell'oscilloscopio in una posizione che, ovviamente, corrisponde ad un segnale di valore nullo applicato all'ingresso della sezione verticale.

In pratica quindi, con la modalità operativa AUTO:

- a riposo in assenza di segnale o di trigger esterno si ha una traccia orizzontale di riferimento corrispondente ad un segnale di livello zero.
- non appena viene applicato un segnale all'ingresso della sezione verticale la relativa forma d'onda viene visualizzata sullo schermo.
- se viene a mancare questo segnale in ingresso, la traccia lineare di base compare di nuovo sullo schermo dell'oscilloscopio.

Poichè il circuito di trigger possa comunque funzionare con questo "automatismo operativo", occorre che i circuiti che intervengono con il commutatore MODE posto su AUTO realizzino una funzione che, diversamente, deve essere attuata dall'operatore dell'oscilloscopio; che regolino cioè "automaticamente" il comando di livello di trigger "quale che sia il livello e la forma d'onda" del segnale da esaminare ed in arrivo nell'ingresso della sezione verticale.

Ed in ciò consiste appunto l'utilità di questa modalità operativa: nel fatto che il circuito di trigger viene adattato al segnale in ingresso senza alcun intervento dell'operatore. Si ha inoltre il vantaggio di potere verificare all'istante la linea di riferimento relativa al livello zero del segnale, semplicemente interrompendo il contatto del puntale della sonda con il circuito in esame.

Un'altra modalità operativa molto utile del sistema di trigger sta nel fatto di potere lavorare con i segnali televisivi.

La maggiore parte degli oscilloscopi del mercato richiede per il trigger dei segnali del quadro TV una scansione di 100 μs per divisione o meno e 50 μs o più per quelli di riga; ebbene, i modelli della serie TEK 2200 consentono un'ottima possibilità di trigger per qualsiasi velocità di scansione sia per il quadro che per le righe TV; basta utilizzare allo scopo la posizione TV FIELD del commutatore MODE per i segnali di quadro e le posizioni NORM o AUTO per i segnali di riga.

Nella maggior parte dei casi comunque si lavora con il commutatore MODE posto su NORM o AUTO.

In AUTO si ha la grande comodità di operare con trigger automatico mentre con NORM si ha il massimo della versatilità nell'impiego dell'oscilloscopio.

Facendo un esempio, può capitare di dovere esaminare la forma d'onda di un segnale di bassa frequenza con un basso tempo di ripetizione che però non va d'accordo con il funzionamento del temporizzatore tipico della modalità operativa in AUTO al punto da non potere ottenere un traccia stabile; per di più, con il trigger automatico, non si possono triggherare bene i segnali di frequenza molto bassa.

Operando invece in NORM questi problemi cesseranno di esistere e sarà possibile avere una traccia stabile con qualsiasi tempo di ripetizione del segnale in ingresso all'oscilloscopio.

L'ultima modalità operativa è quella cosidetta verticale selezionabile con la levetta del commutatore INT posto sulla posizione VERT MODE; ne abbiamo già trattato parlando delle fonti di trigger. È utilissima perchè consente al circuito di trigger di scegliersi automaticamente caso per caso la sorgente di segnale più adatta, specie nel caso che si abbia alternativamente la scansione della traccia relativa ad un canale e successivamente quella relativa ad un altro. Ciò consente in pratica di analizzare contemporaneamente le forme d'onda relative a due segnali anche se completamente privi di correlazione tra loro.

Con il commutatore di destra del VERTICAL MODE su ALT infatti, il circuito di trigger, come si è visto, preleva alternativamente il suo livello di trigger dai segnali relativi ai due canali; è così possibile visualizzare perfettamente sullo schermo dell'oscilloscopio due distinte forme d'onda anche se ciascuna di esse è di frequenza diversa e non in relazione armonica con l'altra.

La maggior parte degli oscilloscopi invece ricava il suo sincronismo o da uno o dall'altro dei canali di lavoro e non può quindi consentire l'analisi contemporanea di due forme d'onda che non siano sincrone.

Per concludere, con la seguente tabella ricapitoliamo, in sintesi, le modalità operative della sezione trigger della serie TEK 2200:

SEZIONE DI TRIGGER	
Modalità operative	**Posizione dei commutatori**
Normale	NORM con il commutatore MODE
Automatica	AUTO con il commutatore MODE
Quadro TV	TV FIELD con il commutatore MODE
Riga TV	NORM o AUTO con il commutatore MODE
Verticale	VERT MODE con il commutatore INT

ACCOPPIAMENTO DEI SEGNALI DI TRIGGER

I circuiti di ingresso dei canali del sistema verticale sono stati dotati, come si è visto, di due distinti circuiti di ingresso e cioè:

- con accoppiamento diretto in corrente continua con la possibilità di accesso di qualsiasi componente del segnale compresa la componente continua.
- con accoppiamento tramite un condensatore e quindi con esclusione della componente continua del segnale e delle frequenze inferiori a 10 Hz.

Altrettanto conviene fare per il circuito di accesso del segnale di trigger esterno, aggiungendo in più la possibilità di ridurre a un decimo il suo livello in ingresso nel caso dell'accoppiamento diretto in c.c.

Nel caso di trigger interno sono invece i circuiti di ingresso della sezione verticale che scelgono l'accoppiamento più conveniente alla sezione di trigger.

La tabella che segue comunque fornisce sinteticamente le considerazioni più opportune per scegliere l'accoppiamento più conveniente per un segnale di trigger proveniente dall'esterno:

Accoppiamento	Applicazioni
DC	Tutte le componenti del segnale, continue ed alternate, intervengono sul circuito di trigger.
DC÷10	Se il segnale esterno di trigger è di livello troppo elevato si può impiegare questa posizione del commutatore sempre facendo intervenire tutte le componenti del segnale sul circuito di trigger.
AC	La componente in corrente continua del segnale resta bloccata e solo le componenti in corrente alternata possono intervenire sul circuito di trigger.

IMPIEGO PRATICO DEI COMANDI DI TRIGGER

Per verificare ciò che si è sin qui appreso circa la sezione di trigger ed i relativi comandi (riassunti sinteticamente come schema a blocchi nella figura 13), il lettore dovrà predisporre l'oscilloscopio, con i comandi nelle loro posizioni di riposo come qui di seguito indicato:

- il comando VOLT/DIV del canale 1 su 0,5 Volt ed il bottone di colore rosso VAR nella sua posizione di arresto e blocco di fine corsa.
- il comando di accoppiamento verticale su AC.
- il comando VERTICAL MODE di sinistra su CH1.
- il comando di scansione SEC/DIV su 0,5 ms di velocità di scansione e senza magnificazione inserita.
- il comando MODE del trigger dovrà essere posto su AUTO, SOURCE su INT ed INT su CH1.

Ciò fatto si potrà dare l'alimentazione di rete all'oscilloscopio ed inserire una sonda nel connettore BNC disposto sul pannello frontale per il canale 1.

Utilizzando il pieghevole alla fine del testo per ricordare meglio la posizione dei comandi, il lettore potrà ora seguire le indicazioni operative dell'esercizio n° 5.

ESERCIZIO N° 5

I comandi della sezione di trigger

Esaminiamo ora i comandi del trigger. Gli spostamenti del punto di trigger introducono delle variazioni nella visualizzazione della forma d'onda e se ne può quindi verificare l'effetto; cominciamo ad esaminare l'effetto del comando di SLOPE. Si procede come segue:

1) *si agisca sulla traccia con il comando di POSITION orizzontale in modo da spostare verso destra l'inizio della forma d'onda. Si dovrà probabilmente aumentare la luminosità della traccia per distinguere bene il fronte di salita dell'onda quadra che, in quanto scandito molto velocemente, risulta così poco luminoso. Si osservi attentamente il segnale mentre si agisce sul comando SLOPE passando dalla posizione + alla —. Si noterà come, a seconda delle posizioni del comando, la forma d'onda inizierà rispettivamente con un fronte di salita o con un fronte di discesa.*

2) *si regoli ora il comando LEVEL, in su ed in giù con delicatezza, lungo la corsa del potenziometro. Si potrà notare che il fronte d'onda iniziale si allunga e si accorcia su e giù in corrispondenza delle regolazioni del comando di trigger. L'oscilloscopio resterà triggherato in ogni caso dato che si opera con il MODE commutato su AUTO.*

3) *si porti ora il commutatore MODE su NORM. Si torni a regolare il potenziometro di LEVEL; con la regolazione del punto di trigger ci si accorgerà subito di quando l'oscilloscopio "perde" il trigger: non solo si spegne l'indicatore luminoso TRIG'D ma scompare addirittura la traccia.*
   Questo esercizio mostra così la fondamentale differenza di comportamento fra la triggherazione automatica e quella normale.

4) *se poi, con il comando di VERTICAL MODE e quello di INT della sezione di trigger (A e B INT nel caso del modello TEK 2215), si commuta su CH2 si potrà constatare la presenza della linea base di ciferimento di livello zero quando il commutatore MODE del trigger è posto su AUTO e la sua scomparsa commutando invece lo si posiziona su NORM.*
   Il canale 2 infatti, con il suo commutatore di ingresso rimasto su GND, non è alimentato da alcun segnale e quindi, con la triggherazione automatica, non può che mostrare la sola linea di base, mentre, ovviamente, scompare ogni traccia in assenza di segnale con la triggherazione su NORM.

5) *senza disporre di un segnale esterno di sincronismo applicato al connettore BNC EXT INPUT è impossibile sperimentare il relativo circuito di trigger; va comunque tenuto presente che, sia il comando SLOPE che quello di LEVEL, operano allo stesso modo anche in caso di sincronismo esterno. Unica differenza tra i due sistemi di trigger: la possibilità di ridurre il segnale in arrivo dall'esterno agendo sulla levetta del commutatore EXT COUPLING; quando questa viene posta su DC + 10, il segnale resta accoppiato in corrente continua al circuito di trigger ma con una riduzione di 10 volte come livello (20 dB di attenuazione).*
   Un'altra differenza da tenere presente: tutti i segnali esterni di trigger sono valutati in Volt come livello in arrivo (ad esempio 150 millivolt), mentre la sorgente interna di trigger viene considerata in divisioni verticali della scala realizzata con il reticolo. In altre parole il campo di regolazione del trigger è riferito alle divisioni, in verticale, con cui viene visualizzato il segnale.
   Per rendersene conto basta tornare a lavorare con il segnale interno ad onda quadra con il canale 1 portando i commutatori VERTICAL MODE e INT (nella sezione di trigger), sula posizione CH1 e quello di MODE su NORM.
   Si potrà così impegnare il comando di LEVEL e valutare il campo di azione del potenziometro entro il quale si ha l'aggancio del sincronismo e la comparsa della forma d'onda sullo schermo con il comando di sensibilità del canale 1 rimasto sulla posizione 0,5 volt. Portando ora questo comando su 0,1 Volt e tornando ad impiegare il comando di LEVEL, si noterà un campo di lavoro sensibilmente più ampio per la regolazione del trigger, dato che l'ampiezza della traccia in verticale sullo schermo sarà divenuta cinque volte più grande.

6) *anche l'azione del sincronismo preso alternativamente dai due canali con la posizione VERTICAL MODE del commutatore INT della sezione di trigger, non può venire dimostrata se non si dispone di due segnali distinti e non in relazione armonica tra loro.*
   L'operatore si potrà comunque rendere conto dell'utilità di questa prestazione alla prima occasione pratica.
   È comunque possibile fare un altro esperimento con la sezione di trigger che mostra la differenza di comportamento tra il sincronismo automatico ed il normale.
   Si tenga il comando di MODE del trigger su NORM e si ruoti la manopola di LEVEL con delicatezza sino a quando la traccia scompare per mancanza di sincronismo. Si ponga ora la levetta di MODE su AUTO e si vedrà prontamente ricomparire la traccia grazie all'azione del trigger automatico.

CAPITOLO 5

TUTTO CIÒ CHE OCCORRE SAPERE SULLE SONDE

Per realizzare una corretta ed efficace connessione dell'oscilloscopio a tutti i punti di misura che possono interessare nel lavoro pratico di un tecnico, è consigliabile utilizzare la sonda del tipo che, nel testo, è illustrata in figura 14.

Immaginate di collegare l'oscilloscopio al punto di misura con un unico filo metallico. Questo è di fatto il più semplice tra tutti i collegamenti possibili, ma presenta l'inconveniente di non permettere che l'oscilloscopio dia il meglio delle sue prestazioni.

Il filo di collegamento anzitutto "caricherebbe", molto probabilmente, il circuito sotto misura; per di più il filo stesso si comporterebbe come un'antenna captando segnali estranei a quelli per cui si imposta la misura (come quelli a 50 Hz, e sue armoniche, provenienti dal campo elettromagnetico della rete a corrente alternata); lo stesso ragionamento vale per i campi spuri, provenienti dalle irradiazioni elettromagnetiche, ad esempio di stazioni radio private e pubbliche sia radio che TV.

In ogni caso questi segnali captati verrebbero ad interferire con quello utile e visualizzati anch'essi sullo schermo del tubo a raggi catodici.

LE POSSIBILITÀ DI CARICO PER IL CIRCUITO SOTTO MISURA

Se invece di un semplice conduttore, si impiega una sonda (probe in lingua inglese), per collegare l'oscilloscopio al punto di misura, le interferenze da segnali spuri si riducono subito a livelli minimi, del tutto trascurabili; il vantaggio fondamentale comunque, che si ha operando con una sonda è un altro: non si "carica" (non si altera cioè che minimamente), il circuito in cui si desidera verificare e misurare uno o più segnali con l'oscilloscopio.

Quando ci si collega ai capi di un circuito infatti inevitabilmente, poco o tanto, lo si "carica"; vale a dire che se ne altera il comportamento e di riflesso restano cosi alterati anche i segnali presenti nel circuito stesso.

Un circuito viene sempre comunque "caricato" da una sonda, sia con componenti resistive, che induttive e capacitive. Per frequenze di lavoro relativamente basse, sotto i 5KHz, la componente più importante agli effetti del carico è quella resistiva.

In questo caso, per evitare che la sonda abbia qualche influenza sul circuito da controllare, è sufficiente che la resistenza con essa inserita sia, al minimo, di due ordini di "magnitudine" più elevata dell'impedenza del circuito stesso. In pratica occorrerà una sonda con 100 Mohm di resistenza se l'impedenza del circuito è di 1 Mohm, una sonda da 1 Mohm per impedenze di lavoro di 10 Kohm, e così via.

Se si realizzano misure in circuiti con frequenze elevate sia le componenti induttive che capacitive delle sonde diventano importanti.

È praticamente impossibile, impiegando una sonda, non aggiungere con essa anche un poco di capacità, ma è sufficiente che non si aggiunga, di fatto, più capacità di quella che è necessaria per i circuiti di accoppiamento della sonda stessa.

Per ottenere questo risultato, basta impiegare delle sonde con attenuazione di segnale, che vengono previste appunto per ridurre al minimo il carico nei circuiti da controllare.

Una sonda normale, non attenuatá, dispone in parallelo al punto di misura, la capacità del puntale della sonda, più quella del cavetto schermato, più quella ancora che comporta l'ingresso dell'oscilloscopio.

Una sonda con circuito di attenuazione in rapporto 10 a 1 (10X), introduce invece una capacità all'incirca 10 volte inferiore, dell'ordine di soli 10÷14 pico Farad in tutto. È però necessario accontentarsi di un segnale in ingresso all'oscilloscopio dieci volte inferiore. È la penale che si deve pagare per disporre di una sonda con alta impedenza di ingresso.

Le sonde con attenuazione sono dotate di un comando semifisso per la compensazione delle variazioni che si possono verificare nella capacità dell'ingresso dei canali (CH1 e CH2); appunto per questa messa a punto, l'oscilloscopio è dotato di un generatore di onda quadra con un'uscita connessa ad un terminale (PROBE ADJUST), sul pannello frontale per la relativa regolazione del comando semifisso della sonda (viene detta "compensazione della sonda"); il lettore può consultare il primo punto dell'esercizio n° 3 nel capitolo 2.

Va tenuto presente che, quando si misurano delle frequenze elevate, l'impedenza di ingresso della sonda (composta da una resistenza ed una reattanza), varia al variare della frequenza del segnale che si analizza.

Le specifiche tecniche od il manuale di istruzione dell'oscilloscopio sono corredate di una curva similare a quella di figura 15 che permette di rilevare sia l'andamento di questa impedenza che quello della reattanza in funzione della frequenza.

Un'altra considerazione va fatta e tenuta presente quando si eseguono misure con frequenze relativamente elevate: occorre assicurarsi che il collegamento di terra della sonda sia rea-

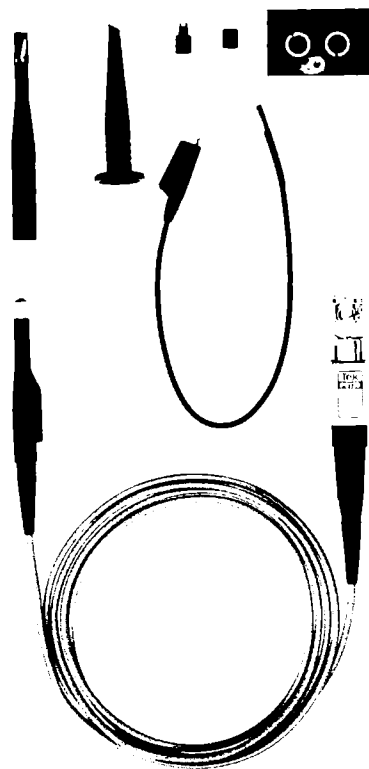



Figura 14

Le sonde sono dei dispositivi elettrici essenziali per accoppiare nel modo migliore l'oscilloscopio ai circuiti da controllare. Ogni sonda è composta da tre parti:

- *il connettore che provvede al collegamento elettrico all'ingresso verticale dell'oscilloscopio; al connettore in genere, nelle sonde passive a partitore, è accoppiata una scatoletta che scherma e protegge tra l'altro un condensatore semifisso; quest'ultimo viene utilizzato, con un ritocco a mezzo dalla lama di un cacciavite, per la compensazione della sonda.*
- *il cavo schermato che è generalmente di poco più di un metro di lunghezza.*
  Per applicazioni particolari può arrivare sino ai tre, cinque metri. Il cavo viene realizzato con componenti speciali: un conduttore interno molto flessibile e resistente e di sezione ridottissima per contenere la capacità verso la guaina schermante che circonda un dielettrico di notevole flessibilità e resistenza meccanica.
- *il puntale (ovviamente schermato per evitare che la capacità della mano influisca sui segnali), che, nel caso delle sonde attive, incorpora dei microcircuiti di amplificazione.*

La sonda viene dotata di una serie di accessori che ne facilitano il contatto elettrico e l'aggancio meccanico ai terminali dei circuiti da controllare.
In figura è illustrata, con i suoi accessori, una delle due sonde passive 10 X modello TEK P6120 che costituiscono la normale dotazione di ogni oscilloscopio della serie TEK 2200.
Questo tipo di sonda, con 10 Mohm di massima impedenza ai capi del puntale, consente un minimo di carico resistivo e capacitivo ai capi del circuito da analizzare.
Gli accessori illustrati, da sinistra a destra sono:

- *un connettore speciale per l'aggancio ai terminali dei circuiti integrati ed in genere a terminali di piccole dimensioni.*
- *un connettore a pinzetta a comando manuale per terminali di tipo normale.*
- *una serie di dispositivi per l'isolamento parziale dei terminali e dei fermagli ad anello per i connettori.*

Al centro è disposto il terminale di massa con pinzetta a coccodrillo da utilizzare per realizzare un buon collegamento alla massa dei circuiti.

---

lizzato con un buon contatto e con un cavetto di connessione il più corto possibile.

Per tenere conto di ciò, in certe applicazioni particolari, con frequenze molto elevate, l'apparato da analizzare viene dotato di appositi connettori, uno per ogni punto di misura, in cui una sonda di tipo speciale viene, caso per caso, innestata.

LARGHEZZA DI BANDA DEL SISTEMA DI MISURA

Ogni sonda va presa in esame considerando anche un'altra sua caratteristica oltre quelle fin qui considerate (impedenza, capacità propria, attenuazione prestabilita), ed è la larghezza di banda.

Così come gli oscilloscopi, anche le sonde infatti comportano delle limitazioni nella larghezza di banda di lavoro; per ogni sonda esistono in pratica dei limiti di banda che possono venire definiti come le frequenze per le quali, agli estremi superiore ed inferiore di frequenza di lavoro, si verifica una attenuazione di −3dB (pari al 0,707 del valore normalmente considerato in banda).

Ma, attenzione, se gli oscilloscopi a cui ci riferiamo in questo testo (e cioè i modelli TEK 2213 e 2215), hanno 60 MHz di banda di lavoro, non si può semplicisticamente affermare che è sufficiente che anche le sonde abbiano i loro 60 MHz di banda.

La combinazione delle due limitazioni di banda comporta infatti un'attenuazione risultante alle frequenze limite che "non" è pari a −3dB, bensì rapportata alla radice quadrata della somma dei quadrati dei tempi di salita corrispondenti (si veda anche quanto trattato nel capitolo 10).

Per esempio, se sia il probe che l'oscilloscopio avessero un tempo di salita proprio di 5,83 nanosecondi (corrispondente appunto ai 60 MHz di banda di lavoro), il tempo risultante Tr sarebbe:

$$Tr = \sqrt{T^2 \text{ oscilloscopio} + T^2 \text{ sonda}} = \sqrt{34 + 34} = 8,25 \text{ ns}$$

equivalenti a 42,43 MHz dato che la larghezza di banda, in MHz, viene ricavata dall'espressione:

Bw (larghezza di banda) = 350/T di salita in nanosecondi

Per potere lavorare con tutti i 60 MHz che consentono gli oscilloscopi della serie TEK 2200, occorrono quindi delle sonde con una larghezza di banda ben superiore. Conviene usare in pratica le sonde consigliate dalle case costruttrici.

Per esempio, nel caso degli oscilloscopi della serie TEK 2200, sono state studiate le sonde TEK P 6120 di tipo passivo ad attenuazione 10 X che consentono una banda di lavoro di 60 MHz per un ingresso di canale considerato ai capi, caldo e freddo, del puntale della sonda.

Le sonde cioè, previste dalla TEKTRONIX per la serie 2200, non comportano alcuna limitazione nella banda di lavoro.

I VARI TIPI DI SONDA

Vi sono vari tipi di sonde per oscilloscopio. Esse possono venire, grosso modo, catalogate in due famiglie:

- le sonde destinate a misurare la tensione dei segnali presenti nel circuito da controllare.
- le sonde previste per misurare la corrente presente nel punto di misura.

Le sonde di tensione possono a loro volta venire suddivise in due distinte categorie:

- le sonde passive che si limitano ad introdurre un minimo di carico nel circuito sotto analisi a spese di una data attenuazione, generalmente di 20 dB (tipo 10 X).
- le sonde attive, che, incorporando dei componenti attivi nel loro circuito, possono, con un costo superiore, permettere prestazioni decisamente però molto interessanti e ben più spinte di quelle che consentono le sonde passive.

La seguente tabella fornirà al lettore un'indicazione circa le prestazioni base per una serie di sonde di tipo diverso; sono le più usate per le varie misure che, caso per caso, si possono rendere necessarie.

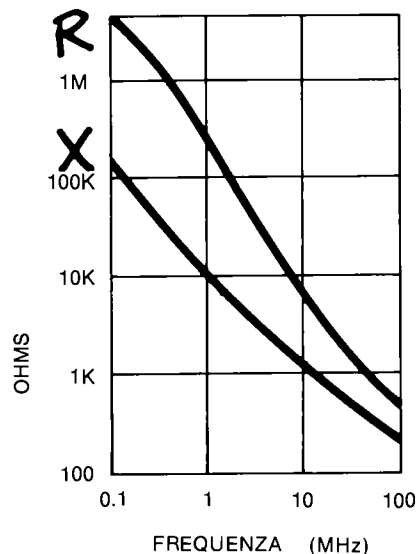



Figura 15

L'impedenza che presenta una sonda passiva con attenuazione 10 X tra il puntale ed il collegamento flessibile di terra varia al variare della frequenza. Questo grafico mostra infatti come l'impedenza, da un valore di 10 M Ω in corrispondenza dei 100 KHz, può scendere progressivamente sino a circa 5 o 600 ohm in corrispondenza dei 100 MHz.

Similare è l'andamento della componente reattiva X dovuto alla capacità verso massa del circuito elettrico della sonda.

I valori riportati in figura sono quelli tipici della sonda TEKTRONIX P 6120 di un metro di lunghezza.

Impedenze di lavoro più elevate nella banda di lavoro si possono ottenere con l'impiego di sonde attive; con un circuito di amplificazione esse possono, non solo compensare le perdite di attenuazione, ma pure ridurre a meno di un PF in tutto la capacità tra puntale e terra; alcune sonde attive per di più consentono, con un commutatore incorporato, di operare con attenuazione 10 X od 1 X. Il loro costo però è molto elevato ed il funzionamento meno affidabile rispetto alle sonde passive 10 X normalmente impiegate.

Tipi di sonde	Caratteristiche
Sonda di tensione di tipo passivo, senza attenuazione (1X).	Non si ha riduzione di segnale di modo che si può così utilizzare la massima sensibilità dell'oscilloscopio ai capi del puntale; opera con limitata larghezza di banda (4-34 MHz); comporta un'alta capacità di carico (32-112 pF); porta tensioni sino a 500 V.
Sonda di tensione di tipo passivo attenuata 10 X o 100 X o 1.000 X.	Comporta attenuazione di segnale ed opera con larghezza di banda sino a circa 300 MHz; è dotata di un condensatore semifisso di taratura e sopporta tensioni al puntale, sino a 500 V (10 X), 1500 V (100 X) o 20 KV (1000 X).
Sonda di tensione di tipo attivo a FET.	Attenuazione commutabile (1 X - 10 X), capacità di ingresso ridotta sino a 1,5 pF; più delicata come impiego e pure più costosa rispetto agli altri tipi di sonde; comporta un campo dinamico di attività ridotto nonchè una larghezza di banda sino a 900 MHz ed un minimo di carico per i circuiti cui viene applicata.
Sonda di corrente di tipo attivo.	Permette la misura di correnti da 1 mA sino a 1000 A, dalla corrente continua ai 50 MHz con un minimo di carico per i circuiti e senza richiedere l'apertura di essi per l'inserzione della sonda stessa.
Sonda di tensione passiva per altissimi valori di tensione.	Sopporta tensioni sino a 40 KV.

LA SCELTA DELLA SONDA PIÙ ADATTA AL TIPO DI MISURA DA ESEGUIRE

Per la maggiore parte delle applicazioni le sonde che vengono fornite con l'oscilloscopio sono le più convenienti come impiego oltre che le uniche a disposizione.

Generalmente saranno del tipo passivo ad attenuazione di tensione e sarà necessario regolarne il relativo comando di compensazione per assicurarsi che possano permettere la fedele riproduzione della forma d'onda del segnale in esame.

Se desiderate impiegare un altro tipo di sonda diverse da quèlle in dotazione dovrete condurre una scelta accurata fra quelle che offre il mercato.

È necessario tenere presente che si deve evitare ogni indesiderata riflessione di segnali lungo il cavetto coassiale della sonda e che, allo scopo, occorre chiudere con cura il cavo sulla sua impedenza caratteristica.

Le combinazioni di sonda e relativo cavo previste per alimentare gli ingressi da 1 Mohm degli oscilloscopi sono studiate per eliminare appunto tali riflessioni di segnale; ma se l'ingresso lavora invece su 50 ohm è necessario impiegare una sonda con un cavo atto a chiudersi su 50 ohm.

Una adatta terminazione di cavo è poi indispensabile se, invece della sonda, si impiega un cavetto coassiale da 50 ohm di impedenza caratteristica.

Per poter collegare ad esempio un ingresso di canale da 1 Mohm con uno di tali cavetti da 50 ohm, sarà necessario chiudere l'ingresso stesso con una resistenza di terminazione da 50 ohm.

Anche la resistenza all'usura, come pure la flessibilità e lunghezza del cavo di una sonda sono particolari pratici da tenere presente; ma, attenzione, il lettore ricordi che più lungo è il cavo della sonda e maggiore risulterà la capacità di carico che comparirà tra i puntali della sonda. Conviene pure esaminare, prima dell'acquisto, le specifiche di lavoro della sonda per verificare se la larghezza della banda è sufficiente, come pure è utile esaminare con cura se essa è dotata di tutti gli accessori e terminali per il puntale di cui può capitare di avere bisogno; la maggiore parte delle sonde di fattura moderna vengono fornite complete di una serie di adattatori e di terminali intercambiabili per i puntali per le più svariate applicazioni.

Le terminazioni di puntale con aggancio a comando manuale consentono ad esempio di connettere il puntale della sonda ai terminali dei componenti nella maggiore parte dei circuiti, ma esistono anche altri adattatori che permettono di collegare la sonda a terminali coassiali o di inserirli su terminali a sezione quadra per connessioni a filo avvolto (wire wrap). Altri tipi di terminali, per contatti di una certa dimensione, prevedono invece connettori del tipo "a coccodrillo".

Per tutti i motivi sin qui esposti (larghezza della banda di lavoro, carico nel circuito di misura, corretta chiusura dell'impedenza caratteristica), il modo migliore comunque per assicurarsi che le sonde del vostro oscilloscopio disturbino il meno possibile il circuito sotto esame, sta proprio nell'impiegare il tipo di sonda previsto e raccomandato dalla casa costruttrice dell'oscilloscopio stesso.

E, attenzione, assicuratevi, prima di impiegarle, che le sonde siano accuratamente compensate; diversamente le alterazioni che esse possono introdurre nelle misure potrebbero mettervi fuori strada specie se state sviluppando un progetto o se volete eseguire una riparazione.

PARTE II
L'ESECUZIONE DELLE MISURE

I primi cinque capitoli del testo hanno sin qui descritto come impiegare nel modo più efficace l'oscilloscopio per eseguire le misure che possono risultare, caso per caso, necessarie.

Questa seconda parte del testo mette ora a punto ciò che sin qui il lettore ha potuto imparare. Il testo inizia con un esame approfondito (nel capitolo 6), dell'aspetto che possono assumere le forme d'onda più comuni.

Dopo di che, nel capitolo 7, giustamente, si esaminano caso per caso le norme di sicurezza e le precauzioni da applicare sistematicamente quando si opera su di un circuito elettrico.

Il primo passo per ottenere misure accurate sta nell'assicurarsi, prima di tutto, che l'oscilloscopio sia correttamente messo a punto e di ciò appunto tratta il testo nel capitolo 8.

Il capitolo 9 è molto importante perchè discute nei dettagli le tecniche di misura iniziando dalle misure fondamentali di tempo ed ampiezza per terminare in seguito con le misure con asse tempi a scansione ritardata.

L'ultimo capitolo del testo discute in dettaglio le prestazioni che possono caratterizzare il lavoro di un oscilloscopio e soprattutto della portata pratica di queste prestazioni sulle misure da eseguire nel corso di un'analisi oscilloscopica.

CAPITOLO 6
LE FORME D'ONDA

Un'"onda" può venire definita come "l'alterazione di un campo che si propaga in un mezzo" ed, a sua volta, "una forma d'onda" viene comunemente definita come "la rappresentazione grafica di un'onda".

Cosi come l'"onda" anche la "forma d'onda" viene riferita a due grandezze: ampiezza delle alterazioni del campo e tempo.

Vale sempre, ed è efficace come esempio, il paragone idrodinamico: immaginiamo di gettare un sasso sulla superficie di uno stagno; si avrà la formazione di onde di perturbazione che progressivamente si allontaneranno via via smorzandosi dal punto ove, cadendo, il sasso ha perturbato la superficie.

Se analizzeremo, istante per istante, il movimento di un pezzo di sughero galleggiante sulla superficie dell'acqua potremo tracciare la forma d'onda relativa in funzione della posizione del sughero rispetto alla superficie dell'acqua in quiete, in corrispondenza dei vari istanti successivi di tempo in cui avremo analizzato il fenomeno ad esempio fotografandolo con una serie di rapidi fotogrammi.

Altro esempio di forma d'onda è quello che compare sullo schermo di un oscilloscopio; essa viene tracciata in funzione dello scostamento, rispetto ad una posizione di riposo, di un fascetto di elettroni in una serie di successivi intervalli di tempo.

L'andamento di una grandezza (tensione, corrente, campo magnetico, ecc), nel tempo può dare luogo a varie forme d'onda e la figura 16 illustra appunto l'aspetto delle più comuni forme d'onda che si possono più facilmente incontrare nell'analisi con tecnica oscilloscopica: sinusoidale, triangolare, quadra, a denti di sega ed impulsiva.

La forma d'onda può consentire la osservazione di un gran numero di particolari, e quindi, il ricavo di altrettante numerose informazioni circa l'andamento di un segnale.

Si possono osservare variazioni di livello che saranno "lineari" se l'andamento sarà altrettanto lineare (e cioè con eguali aumenti, o cadute, di livello in tempi eguali); si avranno invece brusche variazioni di livello in tutti i punti in cui l'anda-

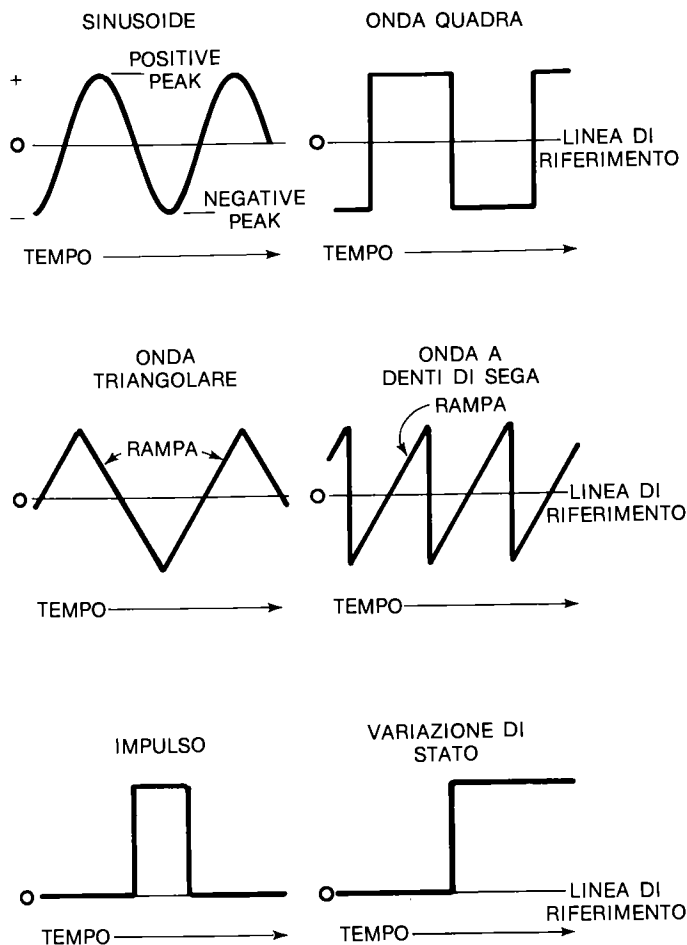



Figura 16

Sono comunemente considerate "forme d'onda tipiche" la sinusoide ed alcune forme d'onda non sinusoidali come l'onda quadra, la triangolare e quella a denti di sega.
L'onda quadra per essere tale deve, per definizione, impegnare in modo eguale il proprio periodo per i due impulsi, uno positivo ed uno negativo, di cui risulta composta; ciascuno di essi cioè deve durare, nel tempo, esattamente il 50% del periodo; l'onda quadra viene spesso impiegata per l'allineamento di amplificatori come pure per la compensazione delle sonde e per il comando di circuiti digitali.
Le onde triangolari ed a denti di sega sono invece utilizzate comunemente nei circuiti per oscilloscopi e per televisione che vengono progettati per comandare l'andamento di una tensione rispetto al tempo. In queste forme d'onda il passaggio da uno stato all'altro avviene in pratica, come indicato in figura, con un andamento lineare detto "Rampa".
Il passaggio da uno stato ad un altro in tutte le forme d'onda, eccettuate le sinusoidali, viene detto "transizione".
Le forme d'onda sin qui considerate sono di tipo "periodico", si ripetono cioè sistematicamente nel tempo con andamento e periodo sempre eguale, ma si possono avere pure fenomeni elettrici aperiodici come impulsi singoli o variazioni di stato illustrati appunto nei due ultimi particolari della figura.
Queste due ultime forme d'onda sono caratterizzate da un tempo di salita corrispondente alla transizione iniziale, da una durata ben definita e da un tempo di discesa; esse sono normalmente impiegate, come l'onda quadra, per il funzionamento dei circuiti digitali.

mento della forma d'onda darà luogo a spigoli con angoli acuti.

Ma per poter descrivere ed inquadrare in modo completo l'andamento di una forma d'onda è necessario riferirsi ad una serie di parametri che possono essere in pratica: l'ampiezza del segnale, il periodo, la frequenza, la larghezza di un impulso, il tempo di salita e di discesa relativo, come pure la fase.

Tutti questi parametri vengono sistematicamente passati in rassegna e discussi nella serie di illustrazioni presenti nel testo da figura 17 a figura 22 con le relative didascalie.

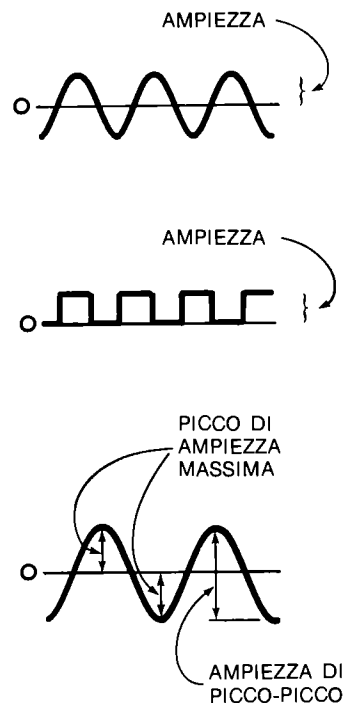



Figura 17

L'ampiezza è una delle grandezze che caratterizzano le forme d'onda. Essa viene rappresentata nel piano cartesiano con l'asse Y e consiste in sostanza nell'ammontare dello scostamento dalla posizione di riposo (od equilibrio), di uno dei punti della forma d'onda; punto che, a sua volta, viene caratterizzato da una sua precisa relazione con il tempo rappresentato a mezzo dell'asse X.
Il termine "ampiezza", senza altre specificazioni, viene comunemente impiegato per indicare il massimo di scostamento dell'andamento di una forma d'onda rispetto ad una linea di riferimento senza tenere conto della direzione in cui avviene lo scostamento stesso.
Nelle due prime forme d'onda indicate in figura (sinusoidale e quadra), l'ampiezza considerata è la stessa anche se in realtà la sinusoide è più ampia come valore picco-picco rispetto all'onda quadra.
Nella terza forma d'onda di andamento sinusoidale è indicato che cosa si intende per "massima ampiezza di picco" e per "ampiezza picco-picco".
Nelle misure realizzate con l'oscilloscopio con il termine ampiezza ci si riferisce comunemente all'ampiezza picco-picco.

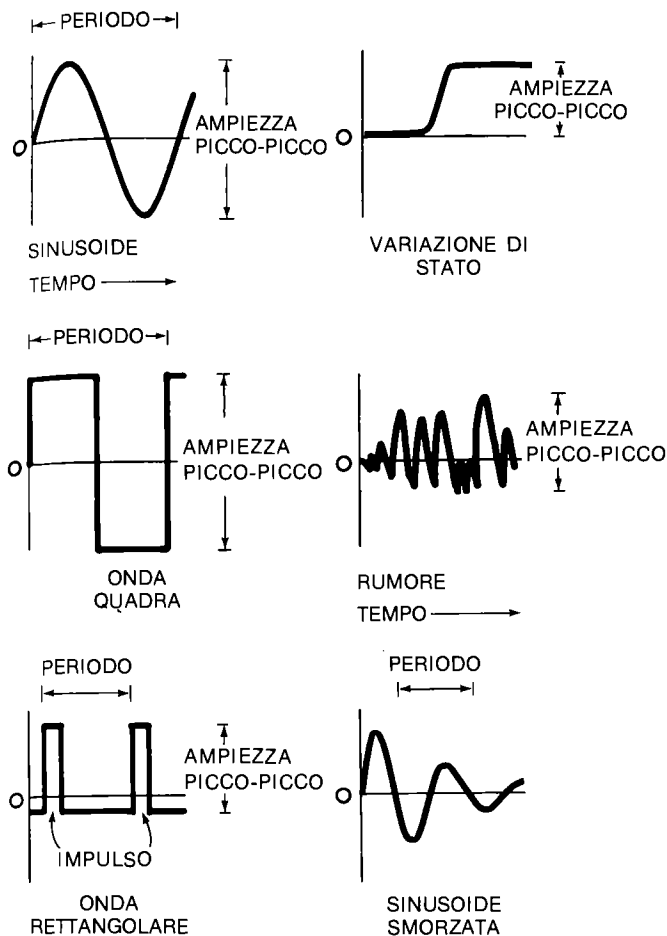



Figura 18

Con il termine "periodo" si indica l'intervallo di tempo necessario per lo svolgimento dell'andamento ciclico di un segnale.
Una forma d'onda per essere periodica non deve necessariamente essere di andamento simmetrico come nel caso di onde sinusoidali o quadre; anche onde più complesse come un'onda rettangolare od una smorzata hanno infatti un loro periodo ben definito.
Solo i fenomeni non correlati al tempo come un'improvvisa variazione di stato od un rumore di fondo, non possiedono un proprio periodo.
Quest'ultimo viene comunque sempre espresso in unità di tempo.

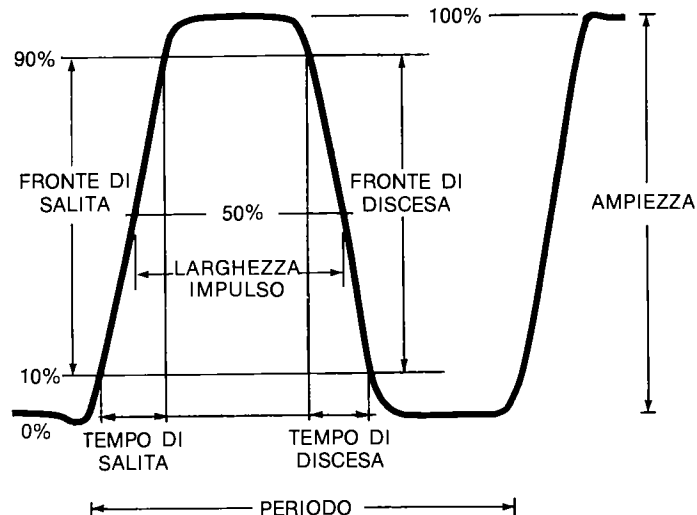



Figura 20

Questa figura illustra i parametri di un impulso; essi possono essere di notevole importanza per le applicazioni che può permettere la tecnica impulsiva in vari campi di applicazione come circuiti digitali, equipaggiamenti a raggi X e trasmissione di dati.
Nelle specifiche di un impulso è importante potere citare i tempi di transizione e cioè:

- *il "tempo di salita" dell'impulso; esso è misurato infatti con riferimento al "fronte di salita" di una transizione positiva, come l'intervallo di tempo che intercorre tra il 10% ed il 90% del fronte di salita.*
- *il "tempo di discesa" dell'impulso; è l'equivalente del tempo di salita riferito però ad un "fronte di discesa" (relativo ad una transizione negativa), con gli stessi limiti del 10 e 90% per la misura dei tempi.*
- *"Larghezza" dell'impulso; è l'intervallo di tempo che intercorre tra il 50% dell'ampiezza dell'impulso considerato sulla transizione positiva ed il 50% sulla transizione negativa.*

Normalmente il "tetto' od il "piede" dell'impulso (si veda in figura), sono appoggiati sulla linea di riferimento di tensione zero.
Se ciò non si verifica la tensione di scostamento da questa linea di zero è detta "di Offset dalla linea di zero di riferimento" o semplicemente "Offset".

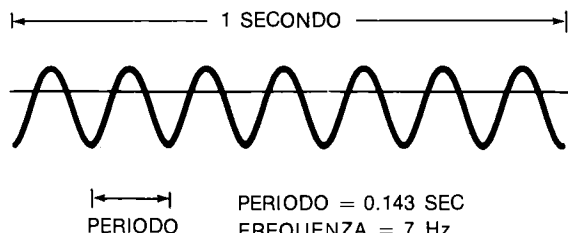



Figura 19

Ogni segnale, se periodico, viene emesso con una sua propria frequenza. Questa può venire definita come il numero di volte che il segnale completa il suo ciclo nell'arco di tempo di un secondo. La frequenza viene espressa in Hz; ad 1 Hz corrisponde quindi un ciclo di segnale al secondo; ad 1 KHz (Kilo Herz), 1.000 cicli per secondo; ad 1 MHz (Mega Herz), 1.000.000 di cicli il secondo.
Il periodo è il reciproco della frequenza dato che, come abbiamo già visto in figura 18, è definibile come l'intervallo di tempo che deve trascorrere perchè il segnale compia un ciclo completo. Valgono quindi le espressioni:

Periodo = 1 : Frequenza e Frequenza = 1 : Periodo

Ad esempio un segnale con 7 Hz di frequenze avrà un periodo di 0,143 secondi e, viceversa, ad un periodo di 0,143 secondi corrisponderà una frequenza di 7Hz.

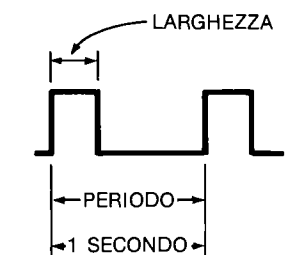
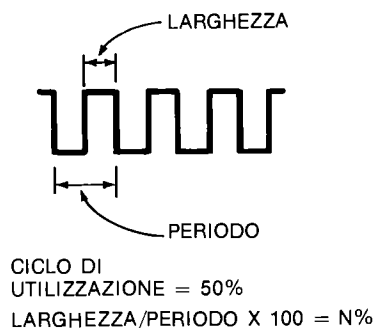
CICLO DI
UTILIZZAZIONE = 50%
LARGHEZZA/PERIODO X 100 = N%

FATTORE DI
UTILIZZAZIONE = .3
CICLO DI
UTILIZZAZIONE = 30%
RAPPORTO DI
RIPETIZIONE = 1/SECONDO

Figura 21

La terminologia relativa alle forme d'onda è molto importante in quanto diviene spesso parte integrante del linguaggio tecnico e quest'ultimo è essenziale quando si debba impostare una misura o, una volta realizzata una serie di misure, stendere la relativa relazione tecnica.
I dati e le definizioni qui citati nelle figure e nel testo sono quindi necessari tanto più quando si ha a che fare con uno strumento come l'oscilloscopio, che visualizza le forme d'onda.
Altri importanti parametri di un impulso sono:
- *il "fattore di utilizzazione" (o "Duty Factor"); è il rapporto espresso in decimali tra l'ampiezza dell'impulso ed il suo periodo. Questo fattore per l'onda quadra è, per definizione, eguale a 0,5.*
- *il "ciclo di utilizzazione" (o "Duty Cycle"); è il fattore di utilizzazione espresso in percentuale. Così per definizione, per l'onda quadra esso sarà del 50%.*
- *il "rapporto di ripetizione" (o "Repetition Rate"); è l'inverso del "tempo di ripetizione", del tempo cioè che deve intercorrere perchè un impulso compia il suo ciclo.*

Per l'onda quadra, come per gli impulsi ad andamento ripetitivo, il "rapporto di ripetizione" equivale alla frequenza dell'onda stessa ed il "tempo di ripetizione" al periodo.
Occorre comunque tenere sempre presente che in regime impulsivo si possono avere in pratica sia:
- *treni di impulsi ad andamento ripetitivo il cui andamento è visualizzabile con i normali oscilloscopi come quelli della serie TEK 2200.*

che anche:
- *treni di sinusoidi normali o smorzate come pure impulsi singoli o treni di impulsi di durata finita e cioè di durata ben delimitata nel tempo. Per visualizzare l'andamento di forme d'onda di questo tipo, e cioè non ripetitive, occorrono invece oscilloscopi speciali del tipo "a memoria".*

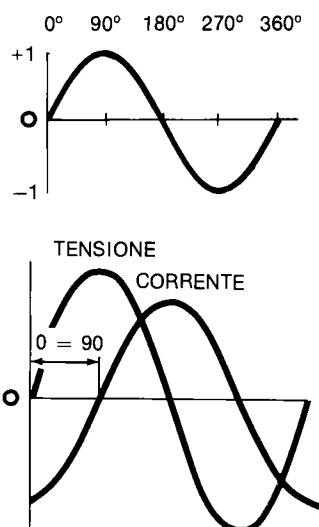



Figura 22

Per spiegare che cosa sia la "fase" è utile riferirsi ad una sinusoide che è la forma d'onda che rappresenta appunto l'andamento del seno di un angolo in funzione dei gradi (tra 0 e 360°), di apertura dell'angolo stesso.
L'andamento di questa forma d'onda parte dal valore zero in corrispondenza di zero gradi, sale ad 1 in corrispondenza dei 90 gradi, torna a zero per i 180 gradi, raggiunge –1 per i 270 gradi ed infine ritorna a zero per i 360 gradi.
Ci si riferisce quindi comunemente ad un "angolo di fase", di una sinusoide (o semplicemente ad una "fase" se non vi è ambiguità), quando si desidera significare che è trascorso un certo ammontare di periodo.
Si parla anche di "angolo di fase" quando si desidera definire le relazioni di fase che esistono fra due segnali e si dice che fra di essi si ha uno "scarto" o "differenza" di fase (o "phase shift"), che, con riferimento a quanto sin qui si è detto, può venire espressa in gradi.
In figura, ad esempio, è riportato l'andamento di una tensione e di una corrente sfasate fra loro di 90 gradi; si può anche dire che "l'andamento della corrente ha un angolo di sfasamento di 90 gradi rispetto alla tensione" oppure che "la corrente è ritardata di 90 gradi rispetto alla tensione". Nel parlare di un andamento, relativo ad una forma d'onda, qualificandola quanto a fase, si fa quindi sempre riferimento ad un altro analogo andamento.
Nel caso qui considerato si ha la rappresentazione dell'andamento di una tensione ai capi di un induttore e della relativa corrente che vi scorre dentro.

CAPITOLO 7
LE NORME DI SICUREZZA

Prima di effettuare una qualsiasi misura con l'oscilloscopio il lettore deve ricordarsi che occorre prestare la massima attenzione quando si lavora con un apparato elettrico specie se è alimentato dalla rete di distribuzione di energia elettrica a corrente alternata.

Si dovranno seguire scrupolosamente "tutte" le norme di sicurezza e precauzioni descritte nel manuale di impiego, come pure in quello di servizio dell'oscilloscopio ed, in genere, quanto venga consigliato eventualmente anche nei dati relativi all'apparecchiatura elettrica su cui si deve lavorare.

Ripetiamo qui pari pari alcune delle norme più significative relative al lavoro su apparati elettrici:

- non lavorare mai da soli su di un apparato elettrico.
- imparare bene a memoria i simboli che contraddistinguono i circuiti pericolosi e rispettare le norme di sicurezza relative all'apparato su cui si lavora.
- evitare di mettere in servizio apparati elettrici in ambienti più o meno saturi di gas che possano dare luogo a miscele esplosive se mescolati con l'atmosfera.
- collegare sempre il polo freddo dei canali dell'oscilloscopio alla terra del circuito sotto analisi e collegare ad un buon circuito di terra generale sia lo strumento che il circuito. Tenere sempre ben presente che se non si collega a terra lo strumento tutti gli elementi meccanici realizzati in materiale conduttore dell'elettricità, comprese, se il caso, le manopole dei comandi, possono dare luogo a shock da elettricità per "elettrocuzione".
- per evitare danni alla persona evitare di toccare terminali elettrici e componenti del circuito sotto analisi quando l'apparato relativo è alimentato dalla rete.
- seguire sempre le norme riportate nel manuale di impiego o di servizio relative agli apparati elettrici con cui si lavora.

Per l'uso specifico dell'oscilloscopio occorre invece ricordare che è sempre necessario:

- inserire il cordone di alimentazione con la spina adatta e correttamente cablata in una presa corrispondente come terminali ed, a sua volta, regolarmente connessa ad un buon conduttore di terra. Solo allora potranno venire collegate le sonde.
- per il collegamento dell'oscilloscopio alla rete di distribuzione a corrente alternata impiegare sempre e solo un robusto cordone di alimentazione che dovrà essere sempre in buono stato e cioè senza interruzioni o cattivi contatti (specie per il collegamento di terra), e con l'isolamento di protezione sempre efficiente e mai mancante anche solo in qualche punto per screpolature della superficie o altro.
- impiegare un fusibile di sicurezza di adatta portata per evitare che, per surriscaldamento dovuto a corti circuiti, si possano verificare dei principi di incendio nello strumento.
- impiegare l'oscilloscopio sempre con i suoi pannelli di copertura dato che, non solo proteggono l'interno dello strumento, ma impediscono pure contatti accidentali con terminali sotto alta tensione. In un oscilloscopio infatti, sia pure con potenza molto bassa, si hanno le tensioni di alimentazione del tubo a raggi catodici che arrivano sino a 20.000 Volt ed anche oltre.

NOTA DEL TRADUTTORE ED ESTENSIONE DEL TESTO

Tutte le raccomandazioni immancabilmente suonano troppo spesso noiose ed a volte fastidiose. Il perchè di questo loro aspetto tedioso sta probabilmente nel fatto che si tratta di norme citate in modo succinto ed a se stante, con troppo pochi o quasi nessun riferimento al lavoro ed alla pratica operativa di tutti i giorni.

Per di più la tecnica antiinfortunistica, specie nel campo elettrotecnico, è poco conosciuta ed apprezzata nel nostro paese, ove la legislazione relativa risale, tra l'altro, agli anni cinquanta ed è quindi in parte superata dal progresso tecnico.

Tenendo conto di tutto ciò, e con l'intenzione di ammonire il lettore nel modo più toccante, riteniamo utile citare come segue un caso pratico di inosservanza antiinfortunistica con le gravi conseguenze cui esso ha dato luogo. In tal caso l'inosservanza di una delle norme citate in questo capitolo 7 (l'impiego tassativo di una presa per corrente alternata di tipo corrispondente alla spina terminale del cordone di alimentazione), ha dato luogo a grave pericolo di shock elettrico (detto "da elettrocuzione" in termini tecnico-legali, e cioè da passaggio di corrente elettrica nel corpo umano), per gli operatori oltre che a gravi danni alle apparecchiature sotto controllo: danni che hanno addirittura provocato l'andata fuori servizio di un importante impianto di telecomunicazioni.

Il fatto si è svolto, qualche anno fa, in una delle più importanti centrali telefoniche del nostro paese; in essa per un periodo di circa quindici giorni, due tecnici si erano dedicati con un oscilloscopio alla messa a punto di un impianto di analisi del traffico telefonico.

L'oscilloscopio era correttamente dotato di una spina tripolare per il cordone di alimentazione e cioè, per intenderci, di quelle con due spinotti laterali per i collegamenti alla rete e di uno centrale per quello di terra; la presa a disposizione in centrale era però di tipo tedesco, modello "Shukò", con due contatti per la rete ed una coppia di terminali di terra laterali che dovevano agganciarsi su di una ghiera laterale della spina corrispondente.

Gli operatori telefonici invece di cambiare la spina, o di ricorrere ad un adattatore, si limitarono a svitare una vite centrale di fissaggio della presa e ad infilare la spina dell'oscilloscopio con i due terminali di rete nei fori corrispondenti della presa ed il centrale nel foro della vite SENZA QUINDI COLLEGARE A TERRA LA MASSA DELL'OSCILLOSCOPIO.

Lì per lì non capitò nulla; l'oscilloscopio rimase collegato alla rete, entrò in funzione, le sonde furono collegate all'impianto di documentazione della centrale e furono eseguite le misure del caso. Al termine di una giornata di lavoro però, al momento che veniva sfilata la spina dell'oscilloscopio dalla sua presa irregolare, diciamo "di fortuna", con grande meraviglia degli addetti al lavoro, si udì uno schiocco secco, un lampo bluastro illuminò la presa da rete e... l'impianto di documentazione composto da circa 300 cartoline elettroniche andò fuori servizio.

Che cosa era capitato? A causa dell'inosservanza antiinfortunistica degli operatori:

- il terminale di massa dell'oscilloscopio era andato a toccare un terminale della rete a corrente alternata; ciò a causa della precarietà meccanica della presa che era stata privata della vite di fissaggio.
- si era così creato letteralmente un "corto circuito" tra uno dei terminali della rete a 220 V e la terra dell'oscilloscopio.
- attraverso questa terra dell'oscilloscopio, e quindi con il collegamento di terra delle sonde dell'oscilloscopio, la corrente alternata aveva invaso il circuito di massa dell'impianto elettronico di documentazione che era correttamente collegato alla presa di terra della centrale.
- il corto circuito aveva dato luogo ad un transitorio di corrente molto intenso (circa 50 Ampère istantanei che fecero saltare i fusibili di alimentazione di rete), con un fronte d'onda molto ripido come si verifica di fatto nei contatti accidentali.
- il fronte d'onda della corrente di corto circuito aveva indotto nel cablaggio dell'impianto di documentazione (con fili accostati gli uni agli altri e legati assieme), delle extra tensioni molto intense che avevano messo fuori uso i semiconduttori in circa una quindicina di cartoline elettroniche che furono in seguito pazientemente individuate e riparate.

Ecco perchè l'impianto era andato fuori servizio!

Per fortuna in quel momento gli operatori non toccavano la massa dell'oscilloscopio e quindi non corsero il rischio di un grave shock elettrico; perchè per le contrazioni muscolari relative ed i movimenti quindi dello strumento, i collegamenti di terra verso l'impianto delle sonde avrebbero potuto staccarsi aggravando la situazione con un corto circuito questa volta interamente attraverso il corpo dell'operatore.

Speriamo che questo esempio (che è il fedele resoconto di un fatto realmente accaduto), possa illuminare il lettore ed indurlo alla severa osservanza delle norme del nostro capitolo 7.

CAPITOLO 8

OPERAZIONI PRELIMINARI PER LA MESSA IN FUNZIONE DELL'OSCILLOSCOPIO

Perchè sia possibile eseguire misure attendibili è necessario che il banco di misura ed i vari strumenti relativi, primo fra tutti l'oscilloscopio, siano correttamente regolati e messi a punto.

LA COMPENSAZIONE DELLE SONDE

Nella maggiore parte dei casi occorre impiegare delle "sonde con attenuazione". Le più comuni sono del modello 10 X (con il segnale in ingresso all'oscilloscopio ridotto cioè ad un decimo rispetto a quello all'ingresso della sonda), ed hanno un funzionamento "passivo"; vale a dire che non contengono amplificatori.

Questo tipo di sonda richiede una "compensazione"; ed è bene assicurarsi che questa sia stata effettuata e con cura prima di iniziare qualsiasi analisi di forma d'onda con rilievo e misura delle relative caratteristiche.

Diversamente potrà capitare di visualizzare delle forme d'onda distorte o, in ogni caso, sensibilmente diverse dal reale, cosi come è illustrato nella figura 23.

D'altra parte una verifica, come tempo, costa poco, anzi, è quasi immediata; basta collegare le punte delle sonde al terminale PROBE ADJUST, sul fronte del pannello dell'oscilloscopio, e verificare con una sola occhiata che il "tetto" delle onde quadre riprodotte, sia rigorosamente orizzontale e senza alterazioni negli spigoli; questi debbono risultare ad angolo retto con i fronti di salita o discesa oltre che privi di arrotondamenti od ondulazioni da "oversboot" e "presboot".

Anche se si deve operare con un solo canale, conviene sempre verificare la compensazione di entrambe le sonde, ciascuna con il relativo canale. Potrebbe infatti capitare che si verifichi una sonda e poi, per errore, si lavori con l'altra; oppure che si inizi a lavorare con un solo canale e poi ad un certo punto si abbia necessità di lavorare con tutti e due e ci si scordi di verificare preventivamente la compensazione anche della seconda sonda.

LA VERIFICA DEI COMANDI

Abbiamo visto quanto importante sia la compensazione delle sonde. Ma almeno altrettanto importante è la verifica preventiva, prima di iniziare a lavorare, della posizione e regolazione dei comandi.

Anche in questo caso questa verifica preventiva richiederà pochissimo tempo ed eviterà invece sicuramente ritocchi nei comandi, o, peggio, anche errori di misura nel corso dell'analisi oscilloscopica.

La predisposizione dei comandi favorisce inoltre il rapido riconoscimento delle forme d'onda che in un attimo possono cosi venire centrate nella posizione migliore sullo schermo.

Diversamente potrà capitare che il principiante si ritrovi sullo schermo delle figure distorte e quasi irriconoscibili (specie se la sensibilità dei canali sarà stata spinta verso il massimo), o, peggio, che non riesca a triggerare e quindi a collocare alcuna traccia sullo schermo.

A questo punto il procedimento migliore da osservare è proprio quello qui di seguito consigliato; riteniamo che esso debba sistematicamente venire seguito prima di iniziare qualsiasi misura.

Con la pratica diventerà quasi automatico il colpo d'occhio che consentirà all'operatore di sistemare molto rapidamente i vari comandi prima di ogni misura.

In sintesi i consigli che si possono dare possono venire cosi riassunti:

Per la sezione verticale:

- verificare che i due bottoni CAL alla sommità dei comandi VOLT/DIV siano ruotati sino alla loro posizione di blocco al termine della corsa.
- controllare che il canale 2 non sia invertito (il pulsante relativo INVERT deve risultare estratto); a meno che cosí non richieda l'andamento delle misure da eseguire.
- assicurarsi che i commutatori MODE siano commutati per fare lavorare il canale (i canali), come desiderato e verificare la posizione dei relativi commutatori di portata VOLT/DIV. Ricordarsi che, a seconda del tipo di sonda impiegata (1 X o 10 X), occorre riferirsi, per la lettura della portata, ai due corrispondenti contrassegni di scala 1 X e 10 X.
- verificare con cura la posizione della levetta dei commutatori relativi al tipo di accoppiamento da scegliere (DC o AC), per l'ingresso dei canali CH1 e CH2.

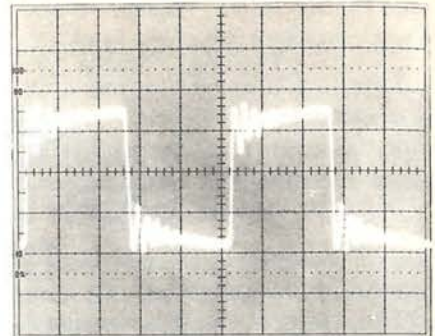
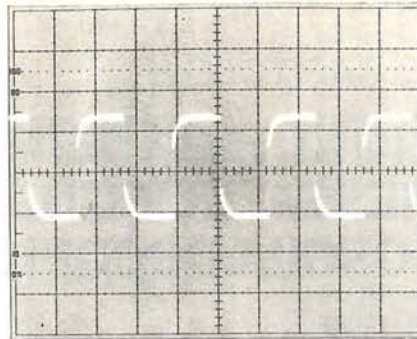
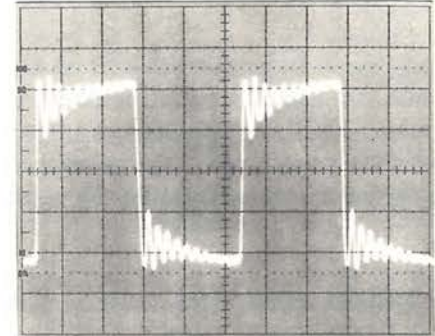
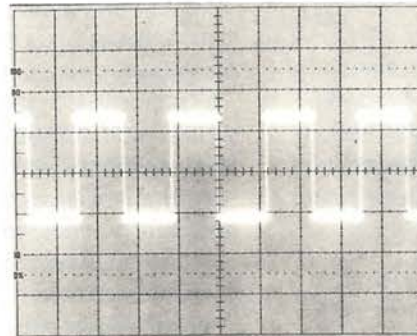
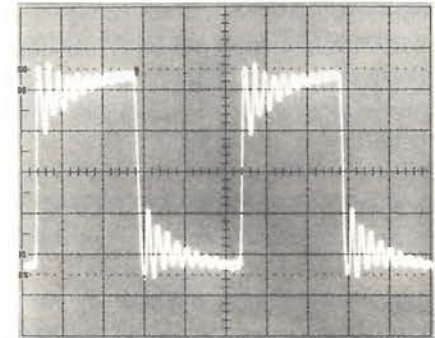
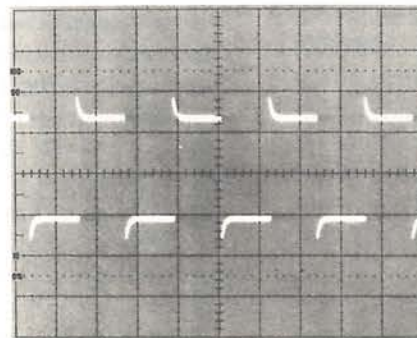



Figura 23

Una imperfetta compensazione delle sonde può introdurre della distorsione nell'andamento delle forme d'onda che compaiono sullo schermo dell'oscilloscopio. Questa distorsione può manifestarsi sia con variazioni in più e in meno rispetto all'effettivo valore dell'ampiezza della forma d'onda, sia pure con alterazioni nell'andamento della forma d'onda stessa.
In figura per ciascuno dei tre casi di sonde "sottocompensate", "correttamente compensate" e "sovracompensate" sono riportati, a dimostrazione di quanto sopra detto, i rispettivi andamenti per due diversi segnali; nella colonna di tre fotografie a sinistra sono infatti riprodotti gli andamenti del segnale ad onda quadra che viene emesso dall'oscilloscopio al terminale PROBE ADJUST per la compensazione delle sonde; a destra invece l'andamento di una forma d'onda di tipo quadro ma con pronunciati "overshoot" ed "undershoot" al termine delle transizioni rispettivamente positive e negative.
Come si può notare, non solo resta effettivamente alterata l'ampiezza del segnale (da meno di quattro divisioni a circa cinque divisioni rispetto al segnale effettivo con poco più di quattro divisioni di ampiezza reale), ma anche l'andamento degli overshoot ed undershoot può restare seriamente alterato.
Le sonde vanno quindi "sistematicamente" verificate come compensazione prima di iniziare qualsiasi lavoro con l'oscilloscopio; diversamente potrà capitare di buttare via tempo e fatica proprio perchè si saranno fatti tutta una serie di rilievi e misure su forme d'onda che in realtà differiscono sia come ampiezza che come andamento. Alcuni operatori superficiali sostengono a volte che le sonde una volta compensate non si starano più e che in ogni caso un buon operatore "si accorge subito che qualche cosa non va" nelle forme d'onda visualizzate, se per caso le sonde risultassero fuori compensazione. Non vi è nulla di più falso e dannoso di queste convinzioni: durante un intervallo di lavoro potrà sempre capitare infatti che qualcuno, giocherellando magari con l'oscilloscopio, alteri sia la compensazione della sonda che anche la posizione di qualche comando, come pure, specie se si opera con forme d'onda di tipo sinusoidale o similare, sarà ben difficile accorgersi che "qualche cosa non va" nel corso delle misure, e ciò perchè la forma d'onda risulterà in pratica meno distorta di quanto può capitare con andamenti più complessi mentre l'ampiezza del segnale resterà profondamente alterata.
D'altra parte una semplice "verifica della compensazione delle sonde", prima di iniziare il lavoro, costa ben poca fatica e richiede solo qualche secondo di tempo in tutto.

Per la sezione orizzontale:

- la magnificazione 10 X deve risultare esclusa, e quindi il comando di colore rosso CAL alla sommità del cmmmutatore SEC/DIV deve risultare premuto.
- la stessa manopola di colore rosso, relativa alla regolazione continua del tempo di scansione, va ruotato fino alla sua posizione di arresto, al termine della sua corsa, in modo da evitare la scalibrazione dei passi di commutazione; in ogni caso, se ne dovrà verificare la posizione.
- verificare che il commutatore MODE sia nella posizione che si ritiene più conveniente per la misura da fare e cioè:
  a) su NO DLY se non occorrono misure con ritardo di asse tempi.
  b) su INTENS se si desidera invece fare misure con una porzione della traccia intensificata.
  c) su DLY se si vuole ritardare l'asse tempi.

Si useranno le posizioni corrispondenti (A, ALT e B), nel caso si utilizzi l'oscilloscopio TEK 2215.

Per la sezione trigger:

- verificare che i comandi siano predisposti in modo che l'asse tempi venga comandato con la pendenza (salita o discesa), più opportuna della forma d'onda con il comando SLOPE.
- scegliere il tipo di accoppiamento più conveniente, caso per caso, e così pure la modalità di lavoro più opportuna (AUTO o NORM o TV FIELD).
- controllare pure che il comando di HOLDOFF sia tutto ruotato in senso antiorario sulla posizione di tempo minimo (NORM).

L'IMPIEGO DELLE SONDE

Prima di cominciare a lavorare è meglio assicurarsi di utilizzare per la sonda i terminali più adatti in vista dei punti del circuito cui ci si deve connettere.

I modelli della serie TEK 2200 utilizzano le sonde P 6120 10 X indicate con gli accessori illustrati in figura 14 nel capitolo 5. Converrà poi verificare (il come verrà detto tra poco), che la terra del circuito sotto analisi sia la stessa terra cui è collegato l'oscilloscopio. Non conviene mai darlo per scontato.

L'oscilloscopio d'altra parte sarà sempre collegato a terra per tutta la durata del funzionamento, sempre che si sia curato di utilizzare correttamente il cordone di alimentazione e cioè: con la spina inserita in una presa di tipo corrispondente ed altrettanto correttamente connessa a terra.

Vale la pena comunque di verificare preventivamente la terra del circuito da analizzare, toccando, con la punta della sonda, il punto del circuito su cui si intende effettuare il collegamento di terra. Questo punto dovrà risultare a potenziale elettrico zero.

Se si debbono verificare le forme d'onda ed i livelli presenti su tutta una serie di terminali di uno stesso circuito e se si misurano frequenze inferiori ai 5 MHz si può anche fare a meno di spostare ogni volta con il puntuale della sonda il relativo collegamento di terra; sarà sufficiente collegare una volta per tutte la terra del circuito a quella dell'oscilloscopio, utilizzando allo scopo la presa Jack contrassegnata con la dicitura GND presente sul pannello frontale.

Concludendo, raccomandiamo di non considerare come ovvie tutte queste predisposizioni dell'oscilloscopio e del tutto pignola e noiosa la metodica preventiva consigliata.

Se l'operatore ripeterà sistematicamente le operazioni qui elencate, e se ne farà una ragione, questo metodo di lavoro gli diventerà rapidamente familiare e verrà seguito poi automaticamente (in quanto perfettamente assimilato), senza nessuna noia o sforzo.

Si eviteranno così molti inciampi, seccature, guai, che la "routine" di lavoro tiene sempre inevitabilmente in serbo e che verranno messi in luce prima che possano provocare danni ai circuiti in esame o agli strumenti; si eviteranno pure innumerevoli occasioni di perdita di tempo ed anche le frustrazioni psichiche che sempre si accompagnano ad un inconveniente che l'operatore dovrà onestamente riconoscere in seguito, come del tutto evitabile solo... che si fosse seguita una corretta metodica di lavoro.

CAPITOLO 9
LE TECNICHE DI MISURA

Piuttosto che proporsi di descrivere come realizzare qualsiasi misura possibile, questo capitolo tratta invece delle misure di tipo più comune che possono ricorrere nella maggiore parte delle applicazioni elettroniche.

LE MISURE BASE DI AMPIEZZA E DI TEMPO

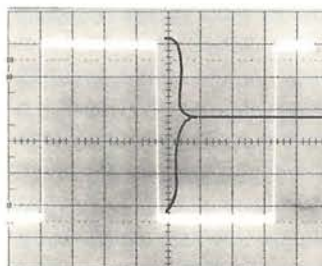
Le misure più comuni che si rendono necessarie nella pratica di tutti i giorni sono quelle di ampiezza e tempo; quasi tutte le altre misure sono basate su queste due tecniche base.

ESERCIZIO N° 6

Misure di ampiezza

Applicheremo ora quanto spiegato nel testo ed introdurremo il lettore alle due misure fondamentali realizzabili con l'oscilloscopio:
- *misure di ampiezza*
- *misure di tempi.*

Ecco come vanno disposti i comandi e come si procede per la misura di ampiezza:

1) *si inserisce una sonda, da un lato nel connettore BNC del canale 1, e dall'altro al terminale di uscita della tensione per la messa a punto delle sonde.*
   Il collegamento di terra della sonda andrà connesso con la presa a coccodrillo alla ghiera esterna del connettore BNC del canale 2 così come indicato in figura 8.
   Ci si assicurerà che la sonda sia compensata e che i bottoni rossi marcati CAL siano ben fermi nelle loro rispettive posizioni di blocco meccanico di fine corsa.
2) *il comando MODE della sezione di trigger va posto su NORM per una triggherazione di tipo normale. Il comando HORIZONTAL MODE va invece posto su NO DLY (su A nel caso del modello TEK 2215).*
   Il comando di accoppiamento del canale 1 dovrà venire posto con la levetta su AC, il SOURCE del trigger su INT e sia il comando INT del trigger che il VERTICAL MODE su CH1.
3) *si regolerà quindi il comando di LEVEL del trigger in modo da ottenere una traccia stabile sullo schermo e si ruoterà il commutatore di sensibilità del canale 1 sino a che l'onda quadra non impegnerà, sullo schermo, circa cinque divisioni in verticale.*
   Si ruoterà ora il commutatore dell'asse-tempi sino a che la traccia farà comparire, sullo schermo, un ciclo completo (si veda in figura), di onda quadra. (Le rispettive posizioni di questi comandi dovrebbero essere: 0,1 V per il VOLT/DIV e 0,2 ms per il SEC/DIV).
4) *si usufruirà ora del comando POSITION del Canale 1 per centrare come indicato in figura la forma d'onda con il tetto dell'onda quadra in corrispondenza della seconda divisione di scala del reticolo a partire dal limite superiore dello schermo.*
   Analogamente si impiegherà il comando POSITION della sezione orizzontale in modo che il fronte di centro della forma d'onda tagli centralmente, come in figura, la linea di riferimento orizzontale del reticolo.

MISURARE L'AMPIEZZA FACENDO RIFERIMENTO ALLA LINEA VERTICALE DI CENTRO DEL RETICOLO.

5) *con questa predisposizione della traccia sarà relativamente facile, a questo punto, contare in verticale le divisioni e le frazioni di esse sulla linea centrale del reticolo, basterà poi moltiplicare questo dato per il valore di scala su cui è posto l'indice del comando VOLT/DIV per avere l'ampiezza picco-picco della forma d'onda. Ad esempio se le divisioni saranno 5 e 0,1 Volt per divisione la portata di scala, l'ampiezza sarà di 0,5 Volt.*
   Se il valore picco-picco del segnale ad onda quadra del vostro oscilloscopio fosse diverso in valore dai 0,5 Volt citati in questo esempio (5,3 Volt, se il caso, come indicato in figura), non ci si dovrà allarmare. Il segnale che viene fornito per la compensazione delle sonde, non è critico come livello, al punto che non viene tarato ai 0,5 Volt all'atto del collaudo di produzione.

L'oscilloscopio è un sistema dedicato alle misure di tensione; questa quindi si manifesta in pratica sullo schermo come ampiezza di deviazione del fascetto elettronico. Tra l'altro alcune grandezze come la tensione, la corrente e la resistenza sono legate fra loro dalle seguenti relazioni:

- corrente = tensione : resistenza
- resistenza = tensione : corrente
- tensione = resistenza × corrente

Le misure di tensione danno il migliore risultato quando si operi con segnali che impegnino verticalmente la maggiore parte dello schermo del tubo a raggi catodici. Con questo accorgimento l'esercizio n° 6 introduce alla pratica delle misure di ampiezza.

Allo stesso modo la miglior precisione nelle misure di tempo la si ottiene quando il segnale permette di impegnare in orizzontale una larga area dello schermo. L'esercizio n° 7, analogamente al n° 6, consente di introdursi alla tecnica della misura oscilloscopica del periodo di una forma d'onda.

MISURE DI FREQUENZA ED ALTRE MISURE INDIRETTE

Le misure oscilloscopiche sin qui esaminate per l'ampiezza ed il tempo sono due campi di "misure di tipo diretto". Vi sono però anche misure di tipo "indiretto", che il lettore potrà eseguire con un calcolo, in cui intervengono le grandezze misurate in modo "diretto".

La misura di frequenza è appunto una di queste: essa è infatti ricavata dalla misura di un periodo. Mentre il periodo può essere definito come il tempo necessario perchè si verifichi il ciclo completo relativo ad una forma d'onda periodica, la frequenza è a sua volta definitiva come il numero di questi cicli che può venire compiuto nell'arco del tempo in un secondo. L'unità di misura di frequenza è l'Hz (1 ciclo/secondo), ed il suo reciproco è il periodo.

Inversamente, ad esempio, ad un periodo di 0,00114 secondi (1,14 millisecondi), corrisponderà una frequenza di 1 : 0,0014 = 877 Hz.

La figura 24 indica come sia possibile eseguire varie misure di tipo derivato nel campo della corrente alternata.

ESERCIZIO N° 7

Le misure dei tempi

Il procedimento migliore per eseguire delle misure di tempi sta tutto nel riferirsi alla linea orizzontale di centro del reticolo. I comandi resteranno nella stessa posizione sperimentate nell'esercizio precedente.

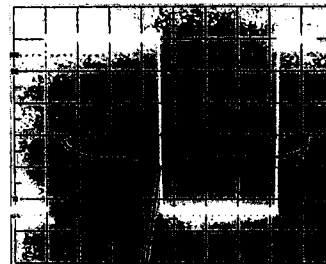
La forma d'onda va centrata verticalmente rispetto a questo asse orizzontale del reticolo agendo con il comando POSITION del Canale 1 nella sezione verticale.

A questo punto si passa a ritoccare il comando POSITION della sezione orizzontale e con esso si centra uno dei fronti dell'onda quadra, il primo sul lato sinistro dello schermo, con una delle linee verticali del reticolo, la più vicina come posizione.

Si contano poi le divisioni e le frazioni di divisione di scala che intercorrono da sinistra a destra fra due fronti di salita (o discesa), come indicato nella foto. Questo conteggio va fatto lungo la linea centrale (in orizzontale), del reticolo rispetto alla quale si è appunto centrata la forma d'onda.

Si moltiplica la distanza così misurata per il fattore di scala rappresentato dal valore di tempo su cui si è ruotato l'indice del commutatore SEC/DIV; ad esempio poniamo si siano misurate 5,7 divisioni (come si rileva dalla figura); ebbene 5,7 divisioni per 0,2 millisecondi dà come risultato 1,14 millisecondi.

Nel caso che il periodo della tensione di calibrazione dell'oscilloscopio risultasse diversa da questo valore, il lettore non se ne deve preoccupare; il segnale di taratura non è infatti critico come periodo o frequenza.

Possiamo dire che esso è di circa 0,5 Volt di ampiezza picco-picco e di circa 1000 Hz di frequenza. L'unica cosa

MISURARE I TEMPI FACENDO RIFERIMENTO ALLA LINEA ORIZZONTALE DI CENTRO DEL RETICOLO

che conta veramente è che la forma d'onda di questo segnale sia rigorosamente quadra in modo da permettere una buona calibrazione delle sonde.

MISURE DI IMPULSI

Le misure di impulsi sono importanti quando si operi su apparati di tipo digitale o per trasmissione dati.

Alcuni dei parametri di un segnale impulsivo sono rappresentati in figura 20; questa figura però si riferisce ad un impulso di tipo ideale, che non esiste nella realtà pratica; con la figura 25 quindi si è ritenuto opportuno illustrare i parametri più significativi di un impulso reale.

L'esercizio n° 8 indica come si possono eseguire misure di tipo "derivato" con l'onda quadra fornita dal circuito che gli oscilloscopi della serie TEK 2200 mettono a disposizione per la compensazione delle sonde (con i terminali di terra e quello di PROBE ADJUST).

La stessa fonte di segnale permette di eseguire, nell'esercizio 9, le modalità di misura per la larghezza di un impulso.

MISURE DI FASE

La fase, come noto, può venire definita come il tempo che intercorre tra un istante, fissato a piacere, e l'inizio del cielo di un'onda; questo tempo può venire misurato in gradi o radianti.

In pratica quindi possono esistere relazioni di fase tra due o più forme d'onda.

Lo scarto di fase (detto anche rotazione di fase od in lingua inglese "phase shift"), tra due segnali può venire misurato con due distinti metodi.

Il primo consiste nell'alimentare con i due segnali, corrispondenti alle forme d'onda, in esame, i due canali di un oscilloscopio a doppia traccia; esso dovrà operare in ALTERNATE o CHOPPED (per la contemporanea visualizzazione dai due canali), e si preleverà il comando di sgancio dell'asse tempi (trigger), da uno di essi a piacere lavorando in NORM come MODE della sezione trigger.

Il comando di LEVEL del trigger dovrà venire regolato in modo da avere una visione stabile delle due forme d'onda. A questo punto occorrerà aumentare la velocità di scansione in modo da ottenere una visualizzazione pressapoco come indicato con la figura 22. Sarà così relativamente facile lo stacco in orizzontale, come divisioni di scala, tra le due forme d'onda.

Dal numero delle divisioni, in base alla velocità di scansione con cui opera l'asse tempi, si potrà ricavare sia il tempo di stacco che il periodo relativi alle due forme d'onda. Il tempo di stacco, o rotazione di fase, tra le due forme d'onda diviso per il periodo e moltiplicato per 360 fornirà la differenza di fase, espressa in gradi, tra i due segnali considerati.

In sostanza si visualizzano le due forme d'onda e si verifica quando una di esse inizia il ciclo rispetto all'altra (vedi ancora la figura 22); ma questo è solo uno dei metodi per la misura di fase.

Vediamo ora il secondo metodo; se esaminiamo il pannello frontale di un oscilloscopio (nel nostro caso o il modello TEK 2213 o il TEK 2215), potremo constatare che i due canali, in corrispondenza dei connettori BNC, sono contrassegnati con le diciture "CH1 OR X" e "CH2 OR Y".

Per di più la posizione iniziale del comando dell'asse tempi è marcato XY. Se su di esso poniamo l'indice del commutatore dell'asse tempi, esso risulterà escluso come funzionamento e le deflessioni, in orizzontale ed in verticale, resteranno comandate rispettivamente dai segnali applicati al CH1 o asse X ed al CH2 o asse Y.

Operando in XY ed applicando ad ogni canale un segnale sinusoidale, sullo schermo del tubo a raggi catodici resteranno visualizzate le cosiddette "figure di Lissajous"; si tratta di figure che hanno preso il nome dal fisico francese Jules Antoine Lissajous che per primo lo scoperse e le utilizzò.

Come indica la figura 26 i vari aspetti che possono assumere le "figure di Lissajous" permettono di risalire ai rapporti di fase tra due distinte forme d'onda di tipo sinusoidale.

Va tenuto presente che l'impiego pratico delle figure di Lissajous per le misure di fase è limitato, di fatto, dalla banda di lavoro dell'amplificatore dell'asse orizzontale (relativo appunto

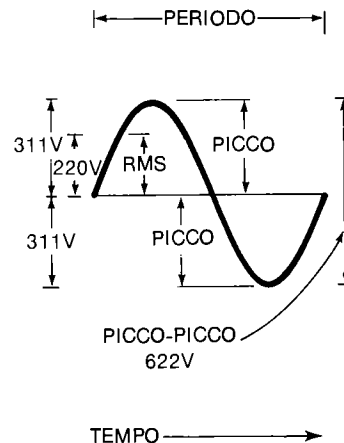



Figura 24

Misure di tipo "derivato" o "indiretto" possono venire condotte con alcuni semplici calcoli sui parametri (ampiezza e tempo) rilevati "indirettamente" dalle visualizzazioni che consente l'oscilloscopio.
Se ad esempio analizziamo l'andamento della sinusoide di un segnale prelevato dalla rete di distribuzione di energia elettrica a corrente alternata, potremo "rilevare direttamente" il valore di picco-picco del segnale; poniamo sia di 622 Volt, come indicato in figura. Il "valore di picco" di una semionda potrà poi venire ricavato "indirettamente" o in modo "derivato" dividendo il valore picco-picco per due; ne risulterà (se non si hanno tensioni di offset come in figura), una tensione di 311 Volt.
Il valore "medio" delle forme d'onda (ottenuto dividendo l'area delle semionde per il periodo espresso in radianti), è invece eguale a zero dato che siamo in presenza di due semionde sinusoidali eguali fra loro in ogni periodo: una positiva ed una negativa.
Il valore "efficace" infine, che corrisponde alla tensione nominale di linea per la rete a corrente alternata, può venire ricavato esso pure in via "indiretta" o "derivata" dividendo il valore di picco di 311 Volt per la radice quadrata di due e cioè per 1,414 (o moltiplicato per 0,707); e sarà di 220 Volt.
Se si partisse invece dal valore di picco-picco di 622 Volt basterebbe dividere questo valore per 2,828 (o moltiplicarlo per 0,3536).
Si tenga presente che con le sonde 10X, che sopportano una tensione massima di 500 V non è possibile misurare la tensione di rete di 220 V che comporta infatti un valore picco-picco superiore, di 622 Volt appunto.

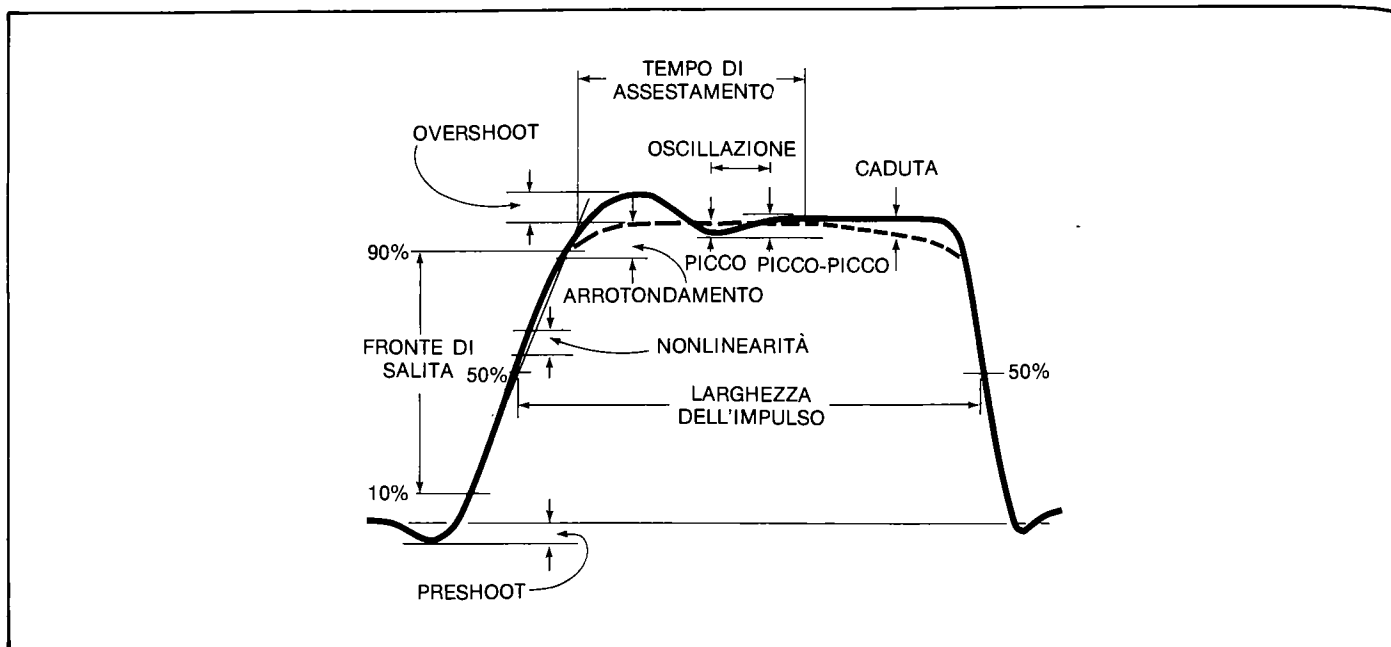



Figura 25

L'andamento "reale" può differire sensibilmente da quello "teorico" tipico di un'onda quadra, ma bastano pochi parametri per individuare questi scostamenti dalla realtà.
Esaminiamo qui di seguito uno per uno questi parametri facendo riferimento all'andamento "reale" riportato in figura:
- *il "preshoot" o "undershoot" è una variazione di ampiezza che "precede" la transizione iniziale e si verifica in senso opposto alla polarità della transizione stessa.*
- *l'"overshoot" oppure l'"arrotondamento" (rounding), sono invece variazioni di ampiezza che si verificano "al termine" della transizione.*
- *all'"overshoot" segue di solito un andamento smorzato di tipo sinusoidale che viene detto "ringing" od "ondulazione".*

Tutti questi parametri sono espressi in percentuale dell'ampiezza dell'impulso. Si dirà quindi, ad esempio, che "si verifica un preshoot od undershoot del 10%".
Si dice poi che si ha una "caduta" (droop), quando si ha un decremento nel valore massimo nella parte superiore orizzontale o "tetto" dell'impulso; viene inoltre definito come "tempo di assestamento" ("setting time"), il tempo che impiega l'impulso, dopo l'"overshoot" ed il "ringing", a portarsi al valore del suo tetto.
Per "non linearità" ("non linearity"), si intende invece qualsiasi scostamento dell'andamento lineare che si verifichi lungo il "fronte di salita" nel tratto che viene normalmente considerato per la misura del "tempo di salita" dell'impulso.

al "CH1 or X"); esso di solito lavora con un limite superiore di banda circa 10 volte inferiore a quello dell'asse Y.

Solo gli oscilloscopi specializzati per l'analisi in XY o i "monitor" di allineamento per i filtri a radiofrequenza hanno limiti di bande eguali sia per il sistema orizzontale che per quello verticale.

MISURE CON GLI ASSI X e Y

La misura della differenza di fase tra due segnali sinusoidali con le figure di Lissajous è un esempio di utilizzazione degli assi XY, ma le prestazioni che essi consentono possono servire utilmente anche per altre applicazioni di misura.

Le figure di Lissajous infatti permettono pure di ricavare la frequenza di un segnale per comparazione con un altro di caratteristiche note.

Si tratta di una misura di grande precisione, sempre che la frequenza del segnale usato sia accertata con notevole approssimazione e che entrambi i segnali siano di tipo sinusoidale.

Le figure che compaiono sullo schermo sono illustrate in figura 26; come si può notare sono riportati sia i rapporti in frequenza che in fase.

Altra applicazione degli assi XY è il controllo dei componenti sia per il servizio di manutenzione che per la produzione di apparati elettronici. Basta disporre di un semplice dispositivo di controllo per transistors come quello riportato, come schema, in figura 27.

Altre applicazioni ancora potrebbero venire descritte sia per la manutenzione di televisori come pure per l'analisi del funzionamento dei motori o per i servizi radio operanti in duplex. In pratica ogni volta che si abbia a che fare con fenomeni fisici interdipendenti tra loro, e non legati invece al tempo, gli assi X ed Y possono manifestare la loro piena utilità.

Ad esempio per l'analisi delle velocità di rotazione di un asse motore in relazione alla coppia sviluppata, come pure della pressione in funzione del volume del liquido o gas, od anche per la verifica e lo studio di traiettorie balistiche od altri problemi aerodinamici.

Una volta che si disponga degli adatti trasduttori gli assi X ed Y di un oscilloscopio permetteranno queste ed altre ancora analoghe misure.

ESERCIZIO N° 8

Misure derivate

Con l'esercizio n° 7 abbiamo ricavato il periodo del segnale ad onda quadra generato dall'oscilloscopio.

Se ora calcoliamo l'inverso di questo periodo avremo, con una misura quindi non "diretta" ma "derivata", la frequenza di questo segnale. Se il periodo fosse di 1 millisecondo tale frequenza risulterebbe di 1000 Hz. Con riferimento al valore invece citato nell'esercizio n° 7 di 1,14 ms la frequenza in questo caso sarà:

$$F = \frac{1}{1{,}14 \times 10^{-3}} = 877 \text{ Hz}$$

Altre misure derivate, con riferimento alla figura 21, possono essere, dato che abbiamo a che fare con onde di tipo quadro:

- *il "duty cycle" o rapporto, espresso in percentuale, tra l'ampiezza utile di impulso ed il periodo (per un'onda quadra il duty cycle è del 50%).*
- *il "duty factor" o rapporto tra ampiezza utile di impulso e periodo (questo fattore nel caso di un'onda quadra è 0,5).*
- *la frequenza di ripetizione (che per un'onda quadra coincide con la frequenza), ad esempio di una sequenza di impulsi.*

In pratica, come si potrà constatare, il segnale di tipo quadro fornito dall'oscilloscopio non è una vera e propria onda quadra in quanto gli impulsi sono, sia pure di poco, diversi come ampiezza dalle pause. Varrà quindi la pena di calcolare, come esercizio di misura derivata, i parametri su citati.

Sarà possibile pure rilevare il valore di picco-picco e calcolare il valore medio di questa stessa forma d'onda.

Per fare queste misure occorrono sia le componenti continue che quelle alternate del segnale. Il canale verticale deve quindi venire accoppiato in corrente continua (DC), al segnale in esame.

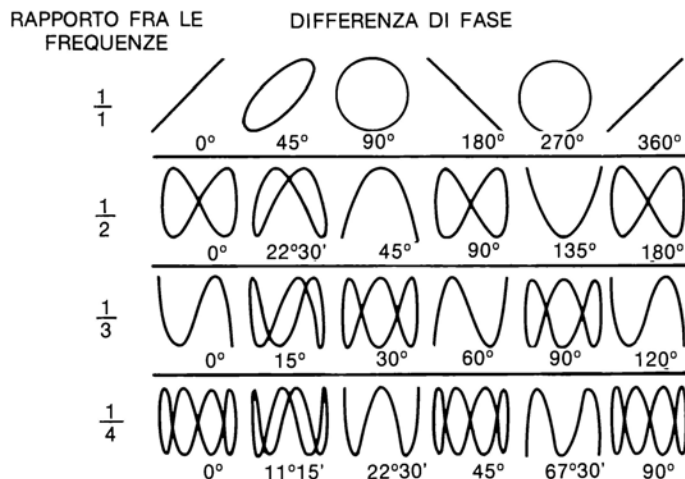



Figura 26

Le misure di frequenza e fase con le "figure di Lissajons" hanno valore solo per segnali di tipo sinusoidale e richiedono un segnale base di riferimento di andamento appunto sinusoidale e di caratteristiche ben note (frequenza e sua stabilità nel tempo). Spesso, come segnale di riferimento, si adotta la tensione della rete a corrente alternata a 50 Hz, oppure si ricorre ad un generatore di segnali ben tarato e stabile od anche controllato, a volte, con un frequenzimetro di alta precisione.
Se non si ha differenza di fase (o di sfasamento), il rapporto tra la frequenza del segnale di riferimento e quello sotto misura corrisponde al rapporto tra il numero di lobi che compaiono in orizzontale ed in verticale nelle figure che si visualizzano sullo schermo.
Se esistono scostamenti di frequenza, tra il segnale da misurare e quello di prova, che non diano luogo ad un rapporto esprimibile con un numero intero (1, 2, 3, 4, 5 e così via), le figure si muoveranno e sarà necessario ritoccare la frequenza campione sino ad arrestare il movimento sullo schermo.
Una volta determinato questo rapporto in frequenza sono solo le variazioni di fase, come illustrato in figura, che influenzano l'andamento delle figure di Lissajons.
Con le indicazioni grafiche riportate in figura si possono quindi eseguire misure di frequenza, ma soprattutto di fase, di buona precisione.

ESERCIZIO N° 9

Misura di durata di un impulso

Per rilevare in modo facile e rapido la larghezza dell'impulso della forma d'onda di tipo quadro fornita dall'oscilloscopio, questo va così predisposto:

- *si lascia la sonda connessa al canale 1 ed al generatore interno di segnali di taratura come nell'esercizio precedente.*
- *si lavora con una velocità di scansione di 0,1 ms/divisione senza ritardo (posizione NO DLY o A se si opera con il modello TEK 2215).*
- *si utilizzerà la triggherazione automatica (MODE su AUTO), ed il fianco di salita (pendenza positiva), della forma d'onda.*
- *si regolerà il comando LEVEL del trigger per visualizzare nel modo più completo possibile sullo schermo l'impulso da analizzare.*
- *si porterà il comando di accoppiamento del canale 1 con cui si sta lavorando su GND per centrare sulla linea mediana in orizzontale del reticolo la traccia luminosa sullo schermo.*
- *ora si commuterà l'accoppiamento del canale 1 su AC dato che (con riferimento alle figure 20 e 25), la durata dell'impulso va rilevata in corrispondenza del 50% dell'ampiezza dell'impulso stesso.*
- *si utilizzerà il POSITION verticale del canale per centrare appunto l'impulso con il 50% dell'ampiezza sopra e sotto la linea orizzontale centrale di riferimento del reticolo.*

A questo punto sarà possibile, lungo questa linea di riferimento, leggere le divisioni e le frazioni corrispondenti alla durata dell'impulso da misurare.

Questo dato, moltiplicato per il valore di scala di velocità di scansione su cui è commutato il comando SEC/DIV, darà la durata dell'impulso in secondi o sottomultipli.

ESECUZIONE DI MISURE "IN DIFFERENZIALE"

Con il MODE ADD del sistema verticale degli oscilloscopi della serie TEK 2200, e premendo il pulsante INVERT del canale 2, è possibile realizzare misure "in differenziale".

Spesso potrà capitare che si desideri eliminare dei disturbi od altri segnali indesiderati nella visualizzazione di un dato segnale.

Ebbene, se il segnale disturbante è dello stesso tipo o similare di quello che si vuole controllare si può intervenire con relativa facilità secondo questa procedura:

- si visualizza il segnale con le informazioni spurie di disturbo con il canale 1.
- si collega parte di segnale similare a quello di disturbo al canale 2.
- si accoppiano entrambi i canali in DC (impiegare l'AC solo se la componente continua del segnale è troppo alta).
- si sceglie l'analisi alternata per il sistema verticale dell'oscilloscopio ponendo i relativi commutatori del vertical MODE su BOTH e su ALT.
- si regolano i due commutatori VOLT/DIV dei canali 1 e 2 in modo che i due segnali abbiano all'incirca la stessa ampiezza sullo schermo dell'oscilloscopio.
- a questo punto si pone il commutatore di destra del VERTICAL MODE su ADD e si preme il tasto INV in modo che i due segnali abbiano polarità opposta. Il disturbo resterà così notevolmente attenuato.
- converrà ora agire sul bottone VAR del canale 2 (spostandolo così dalla sua posizione di blocco di fine corsa), regolando l'amplificazione del canale per il massimo effetto di cancellazione del disturbo.

Al termine di questa procedura si avrà, di fatto, la visualizzazione del solo segnale che interessa quasi del tutto privo di disturbi.

Altra applicazione del funzionamento "in differenziale" (con ADD ed il pulsante INV premuto), è la misura di livello, (e relativa analisi delle forme d'onda), nel caso di segnali presenti su linee di trasmissione simmetriche rispetto a massa come capita ad esempio nel caso delle linee telefoniche. Segnali simmetrici rispetto a massa si hanno pure in alcuni stadi di bassa frequenza (più raramente di radiofrequenza), operanti in "controfase".

Naturalmente in questi casi si analizza in pratica un solo canale di trasmissione alla volta dato che entrambi i canali dell'oscilloscopio vengon impegnati contemporaneamente per la valutazione di un solo segnale.

L'IMPIEGO DELL'ASSE Z

Il tubo a raggi catodici può venire comandato, così come si è accennato nella prima parte del testo, su tre assi e cioè:

- l'asse X per le informazioni orizzontali del diagramma cartesiano che viene tracciato sullo schermo del tubo.
- l'asse Y per le informazioni verticali.
- l'asse Z per la maggiore o minore luminosità della traccia.

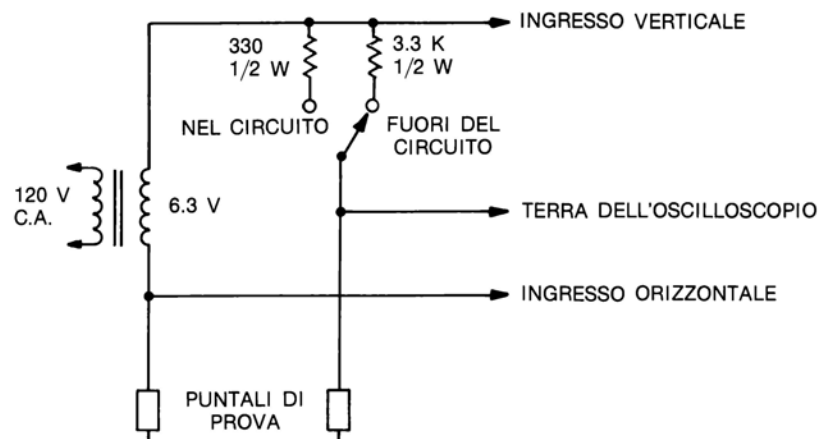



Figura 27

Con pochi componenti collegati all'oscilloscopio, operante con i canali in XY con una disposizione circuitale molto semplice, è possibile realizzare un analizzatore di componenti che permette di rilevare le caratteristiche in base a varie figure che possono comparire, caso per caso, sullo schermo del tubo a raggi catodici.
Come si può notare esaminando lo schema elettrico tracciato in figura, una modesta tensione alternata di rete (6,3 Volt a 50 Hz), viene applicata ad un partitore costituito da una resistenza (3,3 Kohm ½W per componenti non inseriti in un circuito e 330 ohm ½W nel caso di componenti inseriti in circuito), e dal componente stesso ai cui terminali vengono collegati i puntali dell'analizzatore.

La tensione alternata che così si localizza ai capi della resistenza va applicata all'asse Y, mentre quella che resta applicata ai capi del componente va all'asse X.
Con ciò restano spiegate anche le forme d'onda riportate in figura. Se il componente infatti è in corto circuito non si avrà tensione sull'asse X e tutta la tensione alternata resterà applicata alla resistenza del circuito e quindi all'asse Y; per conseguenza si avrà una linea verticale sullo schermo dell'oscilloscopio.

Se invece il componente è privo di continuità, o presenta una resistenza molto elevata, la tensione alternata risulta in pratica tutta applicata all'asse X e sullo schermo verrà tracciata una linea orizzontale. Basterà però che il componente presenti una certa resistenza perchè il partitore distribuisca la tensione alternata fra gli assi X e Y facendoli lavorare entrambi; sullo schermo comparirà quindi una linea inclinata come risultante dell'influenza dei due assi. Dall'inclinazione della linea si potrà così avere un'indicazione anche approssimata della resistenza del componente.

Una capacità provocherà la comparsa di una figura elissoidale in orizzontale sullo schermo. Il circuito del componente è infatti aperto, dato l'isolamento del condensatore, ma lo sfasamento che esso introduce provoca la formazione dell'ellisse.
Un diodo per la sua natura in parte darà luogo a conduzione ed in parte ad una resistenza inversa piuttosto elevata; ecco spiegato perchè sullo schermo comparirà una curva composta da un tratto verticale ed uno orizzontale.
Queste figure sono relative a componenti analizzati a sè e non inseriti quindi in un circuito; se con i puntali del nostro circuito si analizzeranno invece i componenti di un circuito stampato bisognerà tenere presente che altri componenti resistivi o capacitivi potranno risultare interconnessi in derivazione al componente che si vuole analizzare.

Tutti gli oscilloscopi della serie TEK 2200 (ed anche la maggiore parte di quelli, di una certa classe, presenti sul mercato), sono dotati di un connettore BNC, disposto sul retro dello strumento, che viene utilizzato per l'ingresso delle informazioni relative appunto all'asse Z.

Questo ingresso consente di "modulare in intensità" la traccia che compare sullo schermo alterandone la luminosità con un segnale proveniente dall'esterno.

Si possono applicare in pratica livelli sino a 30 Volt con una banda di lavoro che va dalla continua ai 5 MHz.

I segnali positivi fanno decrescere la luminosità e quelli negativi invece la accrescono. Già con 5 Volt di livello applicato sull'asse Z si ha una sensibile variazione di luminosità.

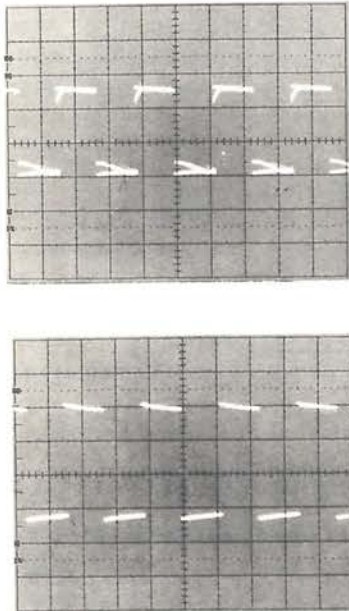



Figura 28

Operando in differenziale è possibile "ripulire" una forma d'onda dalle tracce "spurie", relative ad un segnale indesiderato e presente in quello che si desidera analizzare. Basta disporre di una sorgente del segnale spurio o di un altro segnale che gli "somiglia" abbastanza.
La prima fotografia riportata in figura mostra ad esempio un'onda quadra di 1 KHz di frequenza "contaminata" da una sinusoide a 50 Hz proveniente dalla rete a corrente alternata. Poichè si può disporre facilmente di un segnale a 50 Hz prelevandolo dalla tensione di rete, il gioco è presto fatto; sul canale 1 si invierà il segnale "contaminato" e sul canale 2 sommato al canale 1 (con il comando ADD), ed invertito di polarità (con il pulsante INV premuto), solo un segnale a 50 Hz convenientemente regolato in ampiezza. La seconda fotografia in figura dà un'idea dei risultati: la traccia di disturbo è completamente sparita; in pratica sono visualizzati solo i "tetti" ed i "piedi" dell'onda quadra mentre i fronti di salita e discesa operano con transizioni così veloci che non riescono ad eccitare lo schermo fluorescente in modo sufficente a permettere una traccia anche di luminosità molto debole. Si può rimediare, se necessario, aumentando per un breve istante la luminosità della traccia in modo da riconoscere l'andamento dell'onda quadra.

In pratica l'ingresso per l'asse Z è utilissimo in tutti i controlli per produzioni di serie che utilizzano l'oscilloscopio stabilmente inserito in un banco di collaudo.

Così ad esempio, per il banco di prova per amplificatori di Hi-Fi illustrato in figura 29.

Naturalmente si opera in XY, analizzando una grandezza (nel nostro caso il livello relativo alla risposta in frequenza), correlata al tempo. La scansione di tempo viene realizzata con un apposito "generatore di funzioni" che emette un segnale a livello costante, ma con frequenza variabile in funzione della rampa di una segnale a denti di sega (emesso a parte sempre dal generatore di funzioni), con cui si comanda l'asse X dell'oscilloscopio.

Si opera cioè con il metodo cosiddetto di "vobbulazione" o di "spazzolamento di frequenza"; si visualizza così, con tutta comodità, la curva di risposta in frequenza di un amplificatore; ciò è molto utile perchè l'addetto al collaudo può verificare il comportamento dell'amplificatore con una sola occhiata e può pure intervenire e ritoccare la curva di risposta agendo, se il caso, su degli appositi comandi di messa a punto.

Naturalmente è molto utile "sapere" a quale frequenza di lavoro corrisponda un dato punto della curva di risposta.

Per "saperlo" con tutta precisione, si introduce un dispositivo ("Notch - filter") che, con buona precisione, in corrispondenza della frequenza che interessa, ricava un segnale di comando per l'asse Z. Questo segnale in pratica "marca" o "contraddistingue" il punto corrispondente alla frequenza di lavoro che si desidera segnalare, con una intensificazione (o, a volte, con una riduzione), della luminosità della traccia. Questo contrassegno è detto appunto "marcaggio' o "marker" di frequenza.

La scansione viene provocata dal generatore di funzioni e ripetuta nel tempo con un dato ritmo, ma l'operatore vedrà al solito, per la persistenza delle immagini sulla retina, una traccia continua e stabile e su di essa, ben visibile, il punto o i punti di "marcaggio".

E questi punti saranno ben stabili sulla traccia solo perchè esiste una precisa correlazione di tempi, stabile nel tempo, tra la scansione (ad opera della rampa del dente di sega generato, per l'asse X, dal generatore di funzioni), e lo "spazzolamento" di frequenza.

IMPIEGO DEL TRIGGER PER LE FORME D'ONDA DI TIPO TELEVISIVO

La forma d'onda relativa alle informazioni "video" è piuttosto complessa ed è relativa a due semiquadri ciascuno con 312,5 linee. La maggior parte degli oscilloscopi del mercato mette a disposizione un comando di triggherazione per semplificare la visualizzazione dei segnali video.

In pratica l'oscilloscopio si può sincronizzare sia sui segnali di quadro come pure su quelli di linea.

La serie di oscilloscopi TEK 2200 è appunto dotata di appositi comandi di trigger atti a permettere il comando dell'asse tempi sia con le linee TV, che con il quadro TV a qualsiasi velocità di scansione.

Per esaminare il quadro TV con la serie TEK 2200 si impiega il MODE "TV FIELD". Esso permette di comandare l'asse-tempi come sgancio (trigger), sia con i semiquadri relativi alle linee pari che con quelli relativi alle linee dispari.

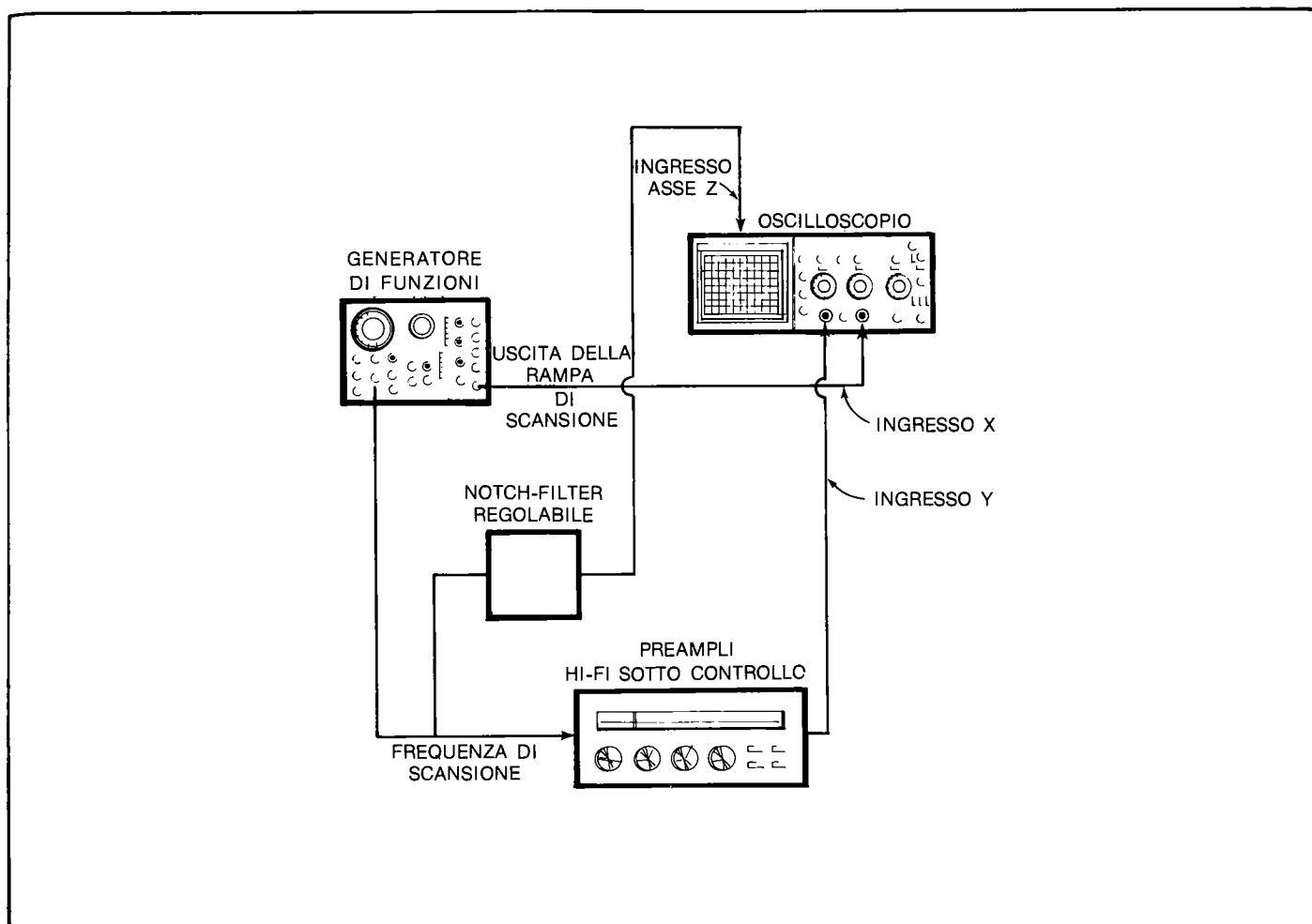



Figura 29

L'impiego dell'asse Z del tubo a raggi catodici può aumentare il corredo di informazioni che viene ricavato normalmente dalla visualizzazione della traccia sullo schermo del tubo.
Ciò avviene ad esempio quando si analizzano delle curve di risposta mediante lo "spazzolamento" ("sweepping"), della frequenza di analisi.
Se ad esempio, come indicato in figura si visualizza la curva di risposta di un sintopreamplificatore di HI-FI con un generatore di funzioni, diviene necessario avere dei riferimenti di frequenza per valutare l'andamento della curva specie ai limiti inferiore e superiore della banda di lavoro, verso i 20 e 20.000 Hz all'incirca.
Basterà collegare un filtro di banda a frequenza variabile (NOTCH FILTER), tra il segnale di spazzolamento e l'asse Z. Tutte le volte che la frequenza di spazzolamento raggiungerà quella su cui è sintonizzato il filtro, questo produrrà un guizzo di tensione che ecciterà l'asse Z producendo così un contrassegno di marcaggio (MARKER), corrispondente a questa sintonia sulla curva di risposta.
Si tratterà per lo più di un punto luminoso che, variando la sintonia del filtro, sarà possibile spostare a piacere lungo la curva di risposta.
Sarà sufficiente un colpo d'occhio per verificare se l'amplificatore di HI-FI in esame corrisponde, come caratteristiche, alle prestazioni per le quali è stato progettato.
È per questo motivo che i MARKER prodotti con l'eccitazione dell'asse Z di un oscilloscopio sono frequentemente utilizzati nei dispositivi di collaudo di produzione.

Ciò può dare luogo a confusione; dato che non viene fatta distinzione tra quadri di linee pari e dispari può capitare infatti che si abbia difficoltà (espandendo la forma d'onda), a seguire il comportamento delle componenti di una data linea. Verrebbero di fatto visualizzate in pratica alternativamente due linee di pari posizione sullo schermo a distanza di un semiquadro poichè una sarebbe pari ed una dispari.

Si rimedia facilmente però e vi sono due distinte possibilità al riguardo:

— si da più tempo di HOLDOFF con l'apposito comando della sezione trigger. In tal modo nei "tempi morti" di ritorno della traccia sarà compreso anche quello di scansione del secondo semi-quadro.

— più semplicemente si commuta il comando a levetta a sinistra nel VERTICAL MODE su BOTH e quello di destra su ALT. Il "tempo morto" relativo alla scansione alternata del secondo canale (che resta così inutilizzato), permetterà di discriminare tra i due semi-quadri a disposizione.

In entrambi i casi il "tempo morto" ridurrà il tempo di effettiva permanenza della traccia sullo schermo e questo tenderà a ridurre la luminosità della traccia stessa.

Va infatti tenuto ben presente che più si aumenta il tempo di HOLDOFF e minore risulta il "tempo utile" di percorso effettivo di traccia, quello appunto che viene utilizzato per eccitare il fosforo dello schermo del tubo a raggi catodici.

Con riferimento alla figura 12 (utilissima per capire il funzionamento dell'HOLDOFF), si vede subito che più aumenta il tempo di HOLDOFF e minore, a parità di tempo di scansione, risulta il ciclo utile di effettivo percorso del pennello elettronico del tubo sulla traccia luminosa dello schermo.

Nel nostro caso di visualizzazione di quadri TV il tempo di HOLDOFF non è molto elevato ed il circuito di regolazione automatica della luminosità può intervenire utilmente mantenendo invariata in pratica la luminosità della traccia.

Se però, specie nell'esame delle forme d'onda impulsive, è necessario un notevole tempo di HOLDOFF pari a buona parte del ciclo ripetitivo del segnale e nello stesso tempo, per vedere meglio dei minuti particolari, si spinge la velocità di scansione al massimo impiegando anche, se il caso, la magnificazione X10, ebbene in questo caso il comando automatico di luminosità arriva al suo limite di regolazione e si può verificare di conseguenza una certa riduzione di luminosità.

È questo un caso limite ma viene citato a proposito in modo da ricordare che il tempo di HOLDOFF va sempre regolato al minimo sufficiente a dare una visione stabile con un sicuro trigger del generatore di rampa per la scansione orizzontale; diversamente potrebbe verificarsi una inutile riduzione di luminosità della traccia.

Tornando all'esame dei quadri TV, va tenuto presente che è necessario scegliere il fronte d'onda con cui si vuole lavorare. Converrà scegliere in pratica quello sul quale sono collocati gli impulsi di sincronismo. Dato che la forma d'onda video è a modulazione negativa, converrà operare scegliendo il fronte d'onda negativo con il commutatore SLOPE della sezione trigger. Si avrà così il massimo di impulsi di sincronismo a disposizione per il trigger.

Per esaminare invece solo una data linea della trama televisiva converrà operare con il MODE "NORM" della sezione trigger e riferirsi agli impulsi di sincronismo orizzontali per avere una visualizzazione stabile ed efficace.

Conviene naturalmente portarsi, con il comando LEVEL del trigger, verso il livello di "blanking" della trama televisiva in modo da non venire disturbati dai sincronismi di quadro.

MISURE CON SCANSIONE RITARDATA

La "scansione ritardata" è una tecnica operativa che inserisce in modo preciso un intervallo di tempo, calibrato a piacere, tra il punto di trigger e l'inizio della scansione dell'asse tempi.

La scansione ritardata viene spesso utilizzata per effettuare misure di precisione, sui dettagli anche più minuti di una forma d'onda (l'esercizio 10 ne fornisce un valido esempio).

Diversamente, per misurare uno dei dati più comunemente richiesti e cioè un tempo di salita in una forma d'onda, operando senza scansione ritardata, bisognerebbe lavorare con il trigger sulla base del fronte relativo alla transizione che si desidera esaminare; ma ciò, specie se si analizza una forma d'onda complessa e con transizioni piuttosto veloci, non è sempre possibile.

Per di più molto spesso il particolare della forma d'onda che merita un'analisi in dettaglio può venire scelto dall'operatore solo dopo avere passato in rassegna, con tutta comodità e per esteso, l'andamento della forma d'onda stessa. Ma per ottenere queste due formidabili prestazioni (e cioè l'analisi dei dettagli della forma d'onda e l'espansione di un dato particolare), bisogna potere scegliere a piacere, lungo l'andamento della forma d'onda, il punto di trigger dal quale fare partire una scansione, ovviamente molto rapida, che copra in pratica solo l'intervallo di forma d'onda che comprende il particolare meritevole di espansione; così da favorire appunto l'attenta analisi che si desidera condurre.

Per di più, se il dettaglio della forma d'onda che si desidera espandere è situato verso la fine del suo andamento e cioè piuttosto lontano dal suo punto di trigger, non si può assolutamente fare a meno della scansione ritardata; se infatti si aumenta la velocità di scansione dell'asse tempi per migliorare il dettaglio, il particolare desiderato esce sulla destra della superficie dello schermo del tubo a raggi catodici; resta così visualizzata in pratica solo la parte iniziale, a partire dal punto di trigger, dell'andamento della forma d'onda.

Solo ritardando quindi a piacere la partenza della scansione si può risolvere questo tipico problema.

In pratica, per comodità dell'operatore, la traccia relativa all'andamento della forma d'onda in esame viene intensificata come luminosità in corrispondenza del particolare che si desidera analizzare; questa intensificazione in pratica può venire fatta scorrere a piacere, manovrando un apposito comando relativo al ritardo dell'asse tempi, lungo tutto l'andamento della forma d'onda.

La scansione quindi (così come prevede, nel modello TEK 2213, il comando HORIZONTAL MODE della sezione orizzontale), può essere:

— normale e cioè senza ritardo (posizione NO DLY, e cioè no delay), del commutatore a levetta MODE HORIZONTAL.

— intensificata come luminosità di traccia (posizione INT ENS, di MODE HORIZONTAL), nel tratto di forma d'onda che interessa. Questa intensificazione di luminosità inizierà, come si è visto, a partire dal termine del tempo di ritardo inserito nella scansione.

— ritardata (posizione DLY), con l'espansione del particolare individuato all'inizio del tratto a luminosità intensificata.

I comandi qui citati, ripetiamo, sono quelli dell'oscilloscopio TEK 2213 e sono relativi ad una tecnica di ritardo di scansione diversa da quella, più sofisticata, che viene invece impiegata nel modello TEK 2215 e che esamineremo tra poco nel testo. Le altre distinte modalità operative qui citate valgono comunque per entrambi gli strumenti.

In pratica però, con il modello TEK 2213, si utilizza un solo asse tempi ed un temporizzatore di ritardo per il ritardo appun-

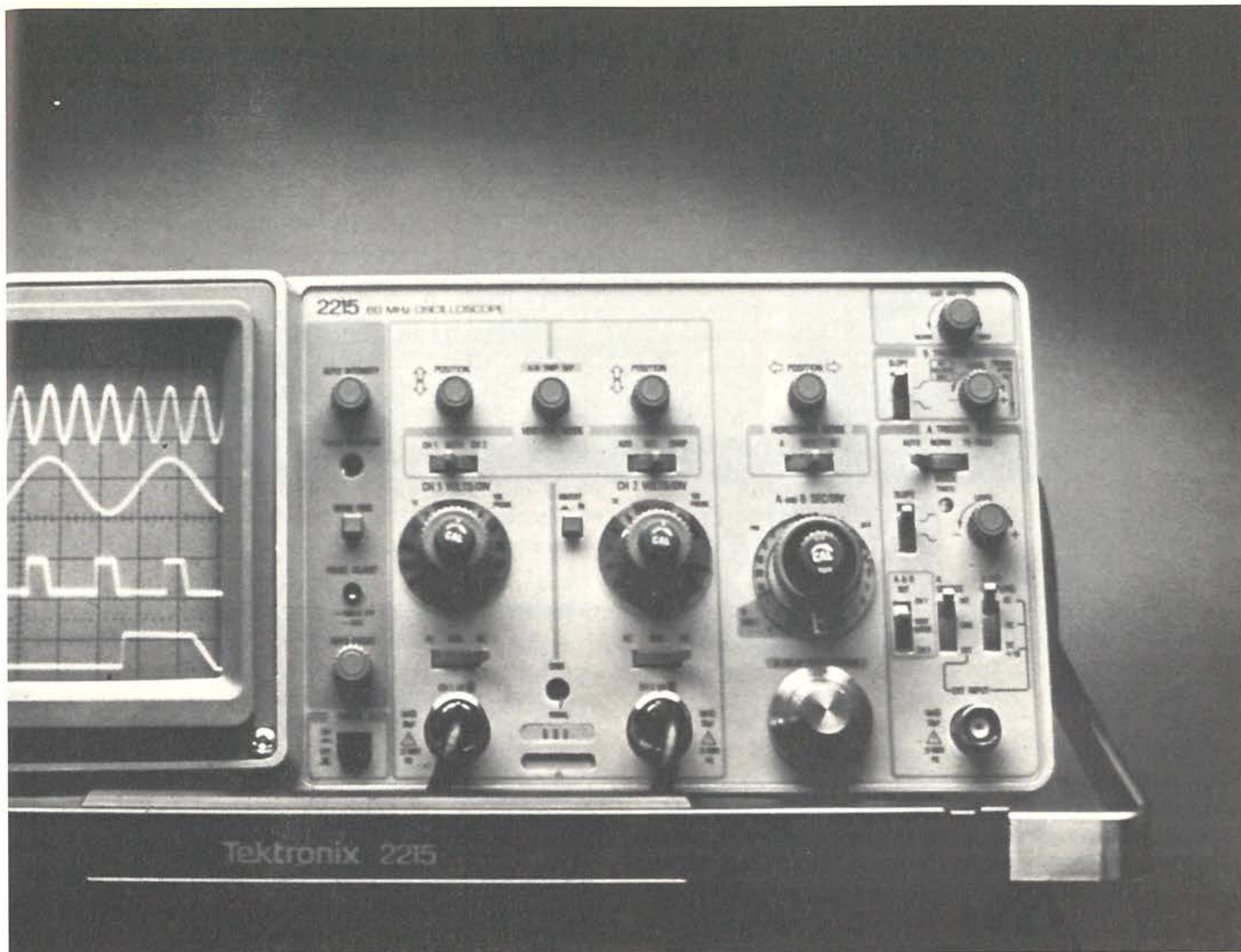



Figura 30

In questa figura è illustrato completamente il frontale dell'Oscilloscopio TEK 2215. I comandi della sezione display sono d'altra parte identici a quelli del modello TEK 2213.

Il lettore potrà riconoscere in pratica i comandi della sezione verticale e quelli della sezione orizzontale e di trigger.

Questa illustrazione completa quindi le indicazioni che compaiono nel pieghevole a disposizione del lettore alla fine del testo (che si riferisce al modello TEK 2213), e consente di famigliarizzarsi anche con i comandi del modello TEK 2215.

Come si potrà notare il frontale del TEK 2215 non differisce di molto da quello del 2213. Esaminiamolo da vicino in dettaglio. Nella sezione verticale, tra i comandi di POSITION relativi ai canali 1 e 2, si ha in più un comando, sempre di posizione verticale, contrassegnato con la dicitura A/B SWP SEP; esso permette di distanziare a piacere le tracce scandite con l'asse-tempi A da quelle relative alla espansione di scansione che si ottiene con l'asse - tempi B.

Nella sezione orizzontale l'HORIZONTAL MODE tiene conto del fatto che si hanno a disposizione i due asse-tempi A e B; esso consente infatti, se posto su A, di operare solo con l'asse tempi A, su B solo con l'asse-tempi B e su ALT di fare scandire appunto alternativamente sullo schermo prima l'asse A e poi l'asse B.

Il comando di scansione lavora con un unico commutatore che, con due comandi coassiali, permette di regolare la velocità di scansione degli assi A e B; esso è infatti contrassegnato con le diciture A and B SEC/DIV.

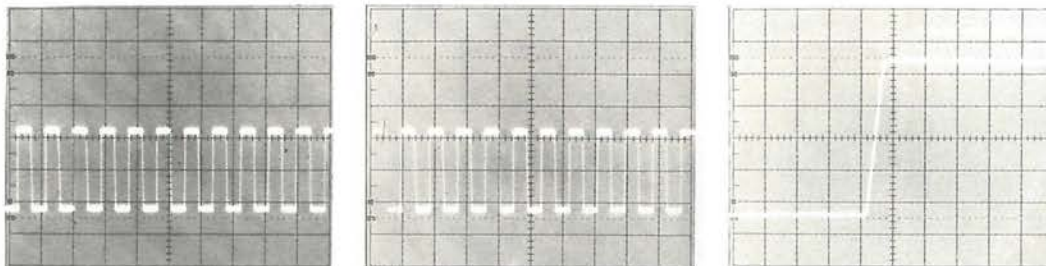
In luogo del MULTIPLIER del modello TEK 2213, l'oscilloscopio TEK 2215 utilizza poi una manopola a gradazione millesimale che permette la regolazione del cursore del potenziometro elicoidale B DELAY TIME POSITION.

Nella sezione di trigger si ha sempre il comando di HOLDOFF ma compaiono in più i comandi relativi alla regolazione del trigger dell'asse - tempi B (SLOPE e LEVEL).

Il resto dei comandi rimane invariato; solo le diciture in qualche caso specificano che si tratta della triggherazione relativa all'asse - tempi A.

Gli esercizi del resto relativi all'impiego del doppio asse - tempi aiuteranno il lettore a capire la funzione e la portata dei comandi dell'Oscilloscopio TEK 2215.

ESERCIZIO N° 10

Misure con asse tempi ritardato eseguite con l'oscilloscopio modello TEK 2213

Si procederà come segue:

1) una sonda dovrà venire connessa al solito al BNC del Canale 1 ed al generatore interno di onda quadra così come indicato in figura 6 e ci si assicurerà che la sonda stessa sia correttamente compensata.

2) i comandi verranno così predisposti:
   il CH1 VOLT/DIV su 0,2 con riferimento all'indice di lettura 10 X sul lato destro della scala.
   – il VERTICAL MODE su CH1.
   – il MODE del trigger su AUTO.
   – il comando di SLOPE del trigger sul fronte di discesa (pendenza negativa).
   – il SOURCE del trigger su INT, ed INT o su CH1 o su VERTICAL MODE.
   – l'HORIZONTAL MODE su NO DLY.
   – il commutatore SEC/DIV su 0,5 ms.

Ci si accerti inoltre che i tre bottoni rossi marcati CAL siano bloccati sulla loro posizione di arresto meccanico di fine corsa.

3) si porrà l'accoppiamento del canale 1 su GND e si centrerà la traccia luminosa sullo schermo con i comandi di POSITION verticale del canale 1 e con quello orizzontale.
   Si porterà poi l'accoppiamento su AC e si regolerà il LEVEL del trigger per una visione stabile della forma d'onda pressapoco così come mostra la prima fotografia a sinistra in figura.

4) dato che la misura dei tempi di salita richiede alte velocità di scansione, converrà ruotare il comando SEC/DIV su 2 µs. Con il comando LEVEL del trigger si tenterà ora di bloccare il tempo di salita sullo schermo. Niente da fare, non ci riuscirete; si perderà il sincronismo con il segnale.

5) converrà tornare a 0,5 ms/divisione di velocità di scansione e commutare l'HORIZONTAL MODE su INTENS. Il commutatore DELAY TIME andrà portato su 0,2 ms e si farà uso del potenziometro DELAY TIME MULTIPLIER per spostare lungo lo schermo la zona a luminosità intensificata.
   Questa verrà fatta partire immediatamente prima di un tempo di salita dell'onda quadra così come mostra la seconda fotografia.

6) si commuterà ora l'HORIZONTAL MODE su DLY'D ed il SEC/DIV su 5 µs. Il tempo di salita comparirà sullo schermo e lo si potrà centrare come posizione agendo con i comandi POSITION orizzontale e DELAY TIME MULTIPLIER.

7) la sensibilità verticale del canale 1 andrà portata su 0,1 Volt per divisione e si potrà così centrare il fronte di salita in corrispondenza alla linea tratteggiata del reticolo predisposto per le linee base di 0 e 100% di segnale. Se il vostro segnale non arriverà con precisione a queste linee di riferimento, si potrà agire sul comando di regolazione continua CAL del canale 1, oppure si centrerà il fronte di salita rispetto a queste linee tratteggiate e si stimerà ad occhio il 10 ed il 90% di ampiezza in base ai quali va rilevato il tempo di salita.

8) in ogni caso converrà ritoccare il comando di AUTO FOCUS per ottenere una traccia il più possibile netta e si agirà poi sul comando POSITION orizzontale per fare corrispondere il 10% dell'altezza con una linea verticale verso il centro del reticolo.
   Si procederà così alla lettura dello spazio in divisioni che impiega il fronte per salire al 90% del massimo livello; questo dato moltiplicato per il valore di scala di SEC/DIV darà il tempo di salita. Se ad esempio la lettura in orizzontale sarà stata di 1,8 divisioni, con un valore della scala di scansione orizzontale di 5 µs, il tempo di salita risultante sarà di 9 µs.

to di scansione. A questa tecnica detta "ad un solo asse tempi", si riferiscono le modalità operative descritte nell'esercizio n° 10.

Con il modello TEK 2215 si opera invece con due distinti assi tempi A e B. Il primo (A), si comporta come elemento di ritardo per l'inserzione del secondo asse (B), che permette l'espansione dei particolari; si vedano al riguardo nell'esercizio n° 11 le modalità di lavoro di questa tecnica che viene detta "a doppio asse tempi".

OSCILLOSCOPI CON UN SOLO ASSE TEMPI

Solo pochissimi oscilloscopi, dotati di un solo asse tempi, si possono permettere l'analisi in dettaglio tipica della tecnica a scansione ritardata, quella appunto che è stata utilizzata per il modello TEK 2213; esso permette, come si è già visto, tre diverse possibilità operative (NO DLY, INT e DLY), consentite dal comando HORIZONTAL MODE della sezione orizzontale:

- nella posizione NO/DLY l'oscilloscopio opera normalmente senza ritardo (delay), di scansione.
- nella posizione INTENS la traccia relativa alla normale scansione resterà intensificata come luminosità a partire dal termine dell'intervallo di ritardo.
  Questo ritardo potrà venire scelto liberamente dall'operatore sia con il commutatore a levetta DELAY TIME, che consente tre valori base di ritardo (0,5 µ sec., 10 µs e 0,2 ms), sia con il potenziometro DELAY TIME MULTIPLIER che permette di moltiplicare sino a 20 volte il valore base prescelto.
  In pratica, quindi, si potrà scegliere qualsiasi valore di ritardo nell'intervallo di tempo da 0,5 µ sec. sino a 4 secondi.
- Nella posizione DLY (sta per delayed e cioè ritardato), la scansione parte dopo il tempo di ritardo prestabilito; questo, come si è visto nel punto precedente, viene fissato in base all'inizio della intensificazione che viene fatta coincidere, ruotando la manopola del potenziometro di regolazione fine, con il dettaglio della forma d'onda di cui si desiderano esaminare i particolari.

Dopo avere inserita la terza posizione DLY dell'HORIZONTAL MODE per esaminare questi particolari, basterà agire sul comando di scansione SEC/DIV. Si sposterà questo commutatore sui passi corrispondenti a velocità di scansione via via più elevate sino a che il particolare risulterà, come visione, sufficientemente espanso.

Se il caso, si potrà pure ritoccare la posizione del moltiplicatore del tempo di ritardo (DELAY TIME MULTIPLIER), per centrare bene il particolare in esame sullo schermo.

Anche solo scorrendo mentalmente queste tre modalità operative si ha subito un'idea della grande utilità della scansione ritardata. Occorre però tenere presente, specie se si eseguono misure di tempi di salita, che "ogni oscilloscopio ha un suo proprio tempo di salita" legato alla larghezza di banda con cui opera la sezione verticale.

Di questo dato si deve tenere conto con le modalità descritte nel capitolo 10 che va quindi letto e studiato attentamente.

OSCILLOSCOPI CON DOPPIO ASSE TEMPI

Di solito la scansione ritardata viene realizzata con oscilloscopi a doppio asse tempi, come il modello TEK 2215, che sono dotati appunto di due distinti generatori di scansione.

In questo tipo di oscilloscopi a doppio asse tempi una prima scansione viene sganciata (triggered), in modo del tutto normale mentre l'inizio della seconda viene ritardato.

Per comodità di descrizione, queste scansioni vengono riferite:

- ad un asse-tempi denominato "A" che consente la visione, parzialmente intensificata, dell'andamento della forma

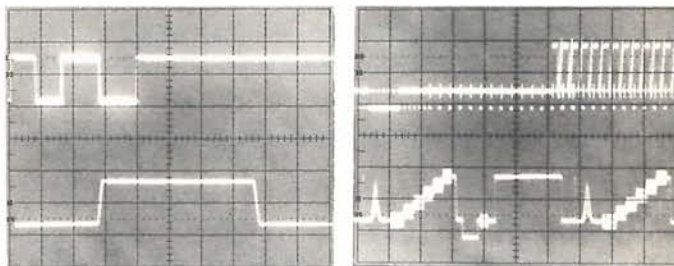



Figura 31

L'impiego di un asse-tempi ritardato consente, con poche manovre, di espandere a piacere la scansione di un qualsiasi dettaglio di una forma d'onda; le misure oscilloscopiche possono così venire attuate con maggiore precisione e sempre con notevole rapidità di manovra. La prima fotografia fornisce un esempio dell'impiego del doppio asse-tempi nell'analisi dei tempi di un circuito digitale.

Poniamo il caso che si debba misurare l'ampiezza di un dato impulso scelto a piacere in un treno di impulsi; ebbene, per individuare con sicurezza l'impulso che si desidera misurare sarà necessario visualizzare buona parte del treno di impulsi, mentre la misura della larghezza dell'impulso richiede invece una scansione ben più veloce per il solo particolare che interessa.

La visione contemporanea delle due forme d'onda sarà possibile però, come indicato in figura, con l'impiego della doppia scansione alternata con gli assi A e B; si analizzerà così il treno di impulsi e, in dettaglio, su di una traccia parallela disposta un poco più in basso sullo schermo, il singolo impulso corrispondente alla zona di luminosità intensificata sulla prima traccia.

La seconda fotografia fornisce un altro esempio di applicazione del doppio asse-tempi.

La prima forma d'onda nella traccia, più in alto, è quella relativa ad un quadro del segnale video di un programma TV.

Sulla seconda traccia compaiono invece, con l'espansione di scansione consentita dall'asse-tempi B, due righe del segnale video con tutti i loro particolari; esse corrispondono al tratto a luminosità intensificata della prima traccia.

Se si ha a disposizione un oscilloscopio con doppio asse-tempi, manovrando il comando di ritardo alla scansione (B DELAY TIME POSITION), sarà possibile quindi passare in rassegna, a piacere, tutte le righe di un quadro TV, esaminandole in ogni dettaglio.

d'onda, e per di più interviene nel determinare il tempo di ritardo.

- ad un asse-tempi denominato "B" che scandisce il solo particolare che interessa della forma d'onda in esame.

L'intervallo di tempo che intercorre tra l'inizio della scansione dell'asse A e quello dell'asse B viene detto appunto "tempo di ritardo" della scansione.

Rispetto agli oscilloscopi con un solo asse tempi, quelli con doppio asse consentono le stesse prestazioni dei primi ed in più:

- la possibilità di confrontare tra loro due porzioni del segnale scandite con differenti velocità.
- di ottenere lo sgancio dell'asse tempi ritardato B senza instabilità (jitter), in caso di forme d'onda ripetitive con instabilità di periodo.
- di ottenere una precisione di lettura dei tempi di scansione dell'1,5%.

La maggiore parte di queste migliorie nelle prestazioni di misura è possibile in pratica perchè si possono comandare separatamente le velocità di scansione degli assi A e B ed impiegarli con tre distinte modalità operative che, come segue, esamineremo ora in dettaglio.

Esse corrispondono, nel modello TEK 2215, alle diciture relative alle tre posizioni del commutatore a levetta HORIZONTAL MODE della sezione orizzontale e cioè:

A — con solo scansione dell'asse A in modo normale.

ALT — in questa posizione si hanno due tracce disposte parallelamente l'una all'altra. Sulla prima (la superiore, disposta cioè più in alto nello schermo), comparirà la forma d'onda scandita normalmente con intensificato, come luminosità, il tratto relativo al particolare da esaminare scandito dall'asse B. La posizione del tratto intensificato, sull'andamento della forma d'onda, dipenderà dalla regolazione del potenziometro di precisione di tipo elicoidale B DELAY TIME POSITION e l'ampiezza del tratto intensificato, come luminosità, sarà legato alla velocità di scansione dell'asse B.
Maggiore sarà la velocità di scansione di questo asse, minore la lunghezza del tratto intensificato e più espansa la scansione del particolare così individuato.

B — con la sola scansione dell'asse B e la visualizzazione espansa del solo particolare della forma d'onda su di un'unica traccia; anche in questo caso, come per il TEK 2213, il comando di regolazione del tempo di ritardo B DELAY TIME POSITION consentirà di regolare la posizione del particolare centrandolo sullo schermo del tubo a raggi catodici.

Le modalità di lavoro consentite dalla posizione ALT sono molto interessanti e pratiche oltre tutto. In sostanza è possibile esaminare in dettaglio ogni punto della forma d'onda in esame ed immediatamente analizzare anche ogni particolare espanso al momento stesso che viene raggiunto dalla intensificazione di traccia.

Si vedano gli esempi di figura 31.

Molto comodi sono ovviamente anche i due comandi coassiali a disposizione per l'asse A e B che consentono le regolazioni indipendenti della velocità di scansione per l'asse-tempi A e per il B quasi con una sola manovra dello stesso comando.

Tutta questa procedura di misura è molto più complessa nelle parole di quanto invece non risulti nei fatti all'atto che si manovra lo strumento. Seguendo l'esercizio 11 il lettore si accorgerà di quanto le manovre siano agevoli nella realtà operativa.

MISURE CON DOPPIA SCANSIONE

Se si opera con un oscilloscopio a doppia scansione anche le misure di tempi più complesse resteranno sensibilmente facilitate.

In pratica infatti:

- la scansione dell'asse A consente l'esame di tutta la forma d'onda.
- la zona a luminosità intensificata indica il campo di azione dell'asse B e la sua posizione lungo l'andamento della forma d'onda.
- la scansione dell'asse B permette di ampliare a piacere, eventualmente anche con l'aiuto della magnificazione X 10 dell'asse X, l'analisi dei particolari della posizione di forma d'onda prescelta con la intensificazione.

Tanto più veloce sarà, come si è visto, la scansione dell'asse B e altrettanto più ristretta sarà la zona intensificata ed, a sua volta, più minuto il campo di particolari che diverrà così possibile esaminare con tutta facilità.

La figura 31, con le sue illustrazioni, dà un'idea dei dettagli che è così possibile scegliere ed espandere a piacere.

Queste prestazioni consentono di eseguire un buon numero di misure sia dirette, con la calibrazione degli assi-tempi, sia pure per paragone, dato che, disponendo di due canali, è possibile, ad esempio, esaminare una forma d'onda prima e dopo la sua amplificazione a mezzo di un quadripolo attivo (o amplificatore).

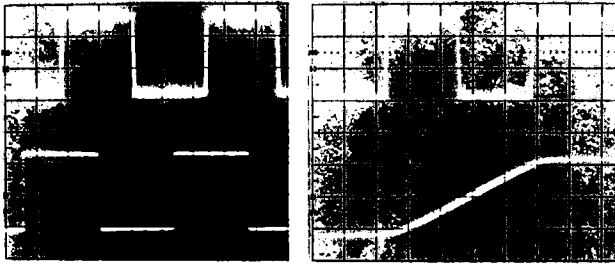
Come si è già detto nel testo, con la commutazione dell'HORIZONTAL MODE su ALT, compaiono sullo schermo due tracce per ogni canale: e cioè una relativa alla scansione con l'asse A e, disposta parallelamente poco più sotto, quella relativa all'asse B.

In tutto quindi sullo schermo, operando con i due canali, possono comparire fino a quattro tracce contemporanee e può capitare che si sovrappongano generando confusione ed impossibilità pratica di lettura.

Si può rimediare subito tenendo conto che:

- con il comando POSITION relativo ad ogni canale, che è disponibile nella sezione verticale, è possibile collocare a piacere sullo schermo ciascuna delle due coppie di tracce relative alla scansione dell'asse A e B.
- per di più il modello TEK 2215 dispone di un altro comando ancora, per la posizione delle tracce, riconoscibile dalla dicitura ALT SWP SEP (e cioè ALTERNATE SWEEP SEPARATION); questo comando (disposto in alto nella sezione ver-

ESERCIZIO N° 11

Misure con asse tempi ritardato eseguite con l'oscilloscopio modello 2215

La figura 30 fornisce ogni dettaglio delle sezioni verticale, orizzontale e di trigger quanto a comandi e diciture, così come compaiono sul pannello frontale dell'oscilloscopio modello TEK 2215.

Misure di un tempo di salita

I comandi delle sezioni verticale e di visualizzazione sono quasi eguali a quelle del modello 2213 e per essi ci si potrà quindi riferire al pieghevole inserito alla fine del testo, oltre che alla figura 30 solo per il comando ALT SWP SEP che compare nella sezione verticale tra i due di POSITION.

Ciò premesso, per le misure con asse tempi ritardato si procederà come segue:

1) *Una sonda dovrà venire connessa, come per l'esercizio n° 20, al BNC del canale 1 ed al generatore interno di onda quadra così come indicato in figura 7 e ci si assicurerà che la sonda stessa sia correttamente compensata.*
2) *I comandi verranno così predisposti (vedi figura 30):*
   - *il CH1 VOLT/DIV su 0,2 con riferimento all'indice di lettura 10X sul lato destro della scala.*
   - *il comando di accoppiamento del canale 1 su AC.*
   - *il commutatore a levetta VERTICAL MODE su CH1.*
   - *l'A TRIGGER su NORM e SLOPE sul fronte di discesa in corrispondenza del segno meno.*
   - *l'A SOURCE su INT ed il commutatore a levetta A e B INT su CH1 o sul VERT MODE.*
   - *l'HORIZONTAL MODE su A ed il commutatore A e B SEC/DIV su 0,2 ms.*

   Ci si accerterà inoltre, al solito, che i tre bottoni rossi marcati CAL siano bloccati sulla loro posizione di arresto meccanico di fine corsa.
3) *Si regolerà il comando A LEVEL del trigger in modo da ottenere una stabile visualizzazione della forma d'onda che verrà regolata come posizione in alto nella prima metà dello schermo così come indicato in figura.*

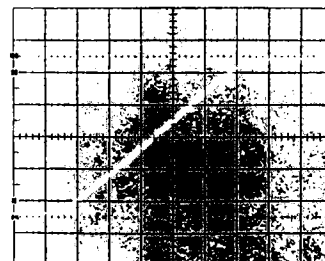
   Si commuterà ora l'HORIZONTAL MODE su ALT in modo da provocare la visualizzazione alternata come percorso di traccia della scansione dell'asse A e di quella dell'asse B.

   Sullo schermo compariranno le due forme d'onda relative alla doppia scansione di A e B; saranno due onde quadre di pari ampiezza orizzontale dato che le due velocità di scansione, dell'asse-tempi A e di B, sono eguali.

   A questo punto con i comandi di POSITION del canale 1 e di ALT SWP SEP (posto tra i 2 comandi POSITION del canale 1 e 2 nella sezione verticale come indica la figura 30), si separeranno le due tracce rispettivamente nella prima e seconda metà dello schermo così come indicato in figura.
4) *Con la manopola graduata di tipo millesimale del comando B DELAY TIME POSITION si sposterà l'inizio del tratto di traccia intensificato, come luminosità, fino ad un punto appena precedente all'inizio di una transizione positiva (e cioè un fronte di salita); sullo schermo compariranno le due tracce così come illustrato nella prima figura del testo.*
5) *Occorre ora espandere la seconda traccia relativa al tratto intensificato come luminosità. A questo fine è sufficiente tirare in fuori la manopola del comando SEC/DIV e ruotarla verso destra in senso orario per aumentare la velocità di scansione dell'asse-tempi B sino a 2 μs.*

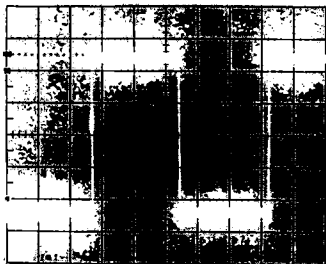
   La zona intensificata si ridurrà di ampiezza e la si farà scorrere in modo che copra tutto un fronte di salita così come indicato nella seconda fotografia nella prima figura.
6) *Si commuti il comando HORIZONTAL MODE su B e si porti la sensibilità del canale 1 a 0,1 Volt/divisione.*

   Si farà uso ora dei comandi di POSITION verticale ed orizzontale, oltre che del B DELAY TIME POSITION, per ritoccare il fronte di salita (che sarà comparso sullo schermo come nella seconda figura), e per porne i "piedi" inferiore e superiore in corrispondenza delle linee tratteggiate in orizzontale (per il 0% e 100% di segnale), sul reticolo per la misura dei tempi di salita.

   Se il caso, si utilizzerà il bottone rosso CAL del CH1 VOLT/DIV per ritoccare l'ampiezza in verticale del

fronte di salita così ottenuto e visualizzato da solo sullo schermo.

7) *Si farà sì (con l'HORIZONTAL POSITION), che in corrispondenza del 10% il "piede" del fronte di salita intersechi una delle linee verticali di sinistra del reticolo. Il comando di AUTO FOCUS conviene poi che sia regolato per una traccia la più netta possibile in modo da poter contare in orizzontale, in modo sicuro e ben definito, le divisioni di reticolo e le frazioni comprese tra il 10 ed il 90% del fronte di salita. Se, ad esempio, si leggessero 4 divisioni ed 8 decimi di divisione, come si legge alla terza figura, operando con 1 μs/div. di velocità di scansione per l'asse B, risulterebbe un tempo di salita di 4,8 microsecondi.*
   Se si manifestasse qualche instabilità (jitter), nella traccia questa è imputabile, si badi bene, solo al generatore di onda quadra e non agli assi-tempi ed ai relativi circuiti di sincronismo.
8) *Ancora due parole, per terminare, sulla misura del tempo di salita:*
   - *anzitutto lo stesso procedimento sin qui descritto, con poche intuibili varianti, vale pure per la misura di un tempo di discesa.*
   - *la precisione di misura che si può ottenere dipende sia dal segnale che viene esaminato, sia dalle prestazioni dell'oscilloscopio con cui si lavora.*

Nel capitolo 10 il lettore può trovare una discussione approfondita di come il tempo di salita "proprio" degli amplificatori verticali possa influire sui risultati delle misure stesse.

Misura della durata (larghezza) di un impulso

Occorre al solito predisporre opportunamente i comandi. Si procede come segue:

1) *Il canale 1 va predisposto con il commutatore VOLT/DIV su 0,1 Volt e l'accoppiamento di ingresso su AC.*
   - *il comando di VERTICAL MODE va posto su CH1.*
   - *il MODE dell'A TRIGGER va posto su NORM e lo SLOPE sul fronte di discesa (o transiente negativo).*
   - *il commutatore A SOURCE del TRIGGER relativo all'asse tempi A va posto in corrispondenza della posizione relativa al sincronismo interno e cioè su INT.*
   - *il commutatore di trigger INT va invece disposto su CH1 o sul VERTICAL MODE.*
   - *l'HORIZONTAL MODE inizia a lavorare su A.*
   - *l'asse tempi A va posto su di una velocità di scansione di 0,2 ms/divisione e l'asse-tempi B va ruotato (tirando in fuori la relativa manopola), su 0,05 μsec/divisione.*

   I bottoni rossi marcati CAL vanno verificati in modo da assicurarsi che siano tutti e tre nella loro posizione di blocco meccanico di fine corsa.
2) *Una volta che i comandi siano predisposti si centra per prima cosa in senso orizzontale l'impulso dell'onda quadra come indicato in figura. L'HORIZONTAL MODE andrà quindi spostato su ALT e si farà scomparire fuori dello schermo in basso la traccia relativa all'asse-tempi B agendo sul comando ALT SWP SEP.*
3) *Si centra verticalmente sullo schermo la forma d'onda agendo sul comando POSITION di CH1.*
   Si rinforza poi un poco la luminosità in modo da distinguere bene il punto a maggiore intensità presente sulla traccia.
4) *A questo punto si regola il comando B DELAY TIME POSITION in modo da portare il punto più luminoso in corrispondenza al 50% del fronte di salita dell'impulso così come indicato in figura nella prima fotografia. Si prenderà nota dell'indicazione corrispondente sulla manopola graduata scrivendo per primo il numero che compare nella finestrella in alto.*
   Si regolerà di nuovo il comando in modo da portare il punto luminoso questa volta al 50% del fronte di discesa così come è indicato nella seconda fotografia della figura nel testo; di nuovo si annoterà l'indicazione numerica che risulta dalla manopola graduata.
5) *La misura della durata risulterà dalla differenza tra la seconda e la prima delle due letture di scala, moltiplicata per il tempo di scansione dell'asse-tempi A. Ad esempio: 5,77−3,13 x 0,2 ms = 0,528 ms.*
   In altre parole il comando B DELAY TIME POSITION lavora con una scala millesimale nella quale 100 divisioni corrispondono ad una divisione di scala.

ticale tra i due comandi di POSITION già ricordati, vedi figura 30), permette di distanziare a piacere le tracce dell'asse A da quelle sottostanti e parallele relative all'asse B.

È cosi possibile assegnare ordinatamente a ciascuna delle quattro tracce una porzione dello schermo in modo da ottenere una visione chiara ed ordinata.

IL COMANDO SEPARATO DI TRIGGER PER L'ASSE B

Può capitare che si debbano esaminare, specie con forme d'onda di tipo impulsivo, dei segnali non perfettamente periodici. Si possono avere cioè delle sequenze di impulsi che si succedono con periodi anche di poco differenti tra loro.

In questo caso la visione della traccia relativa all'asse A resterà chiara e stabile, dato che inizia sempre con un dato punto di trigger, ma quella espansa relativa all'asse B risulterà a volte confusa in quanto, iniziando al termine del tempo di ritardo di scansione, risentirà di una certa instabilità (jitter), relativa alle differenze di periodo delle sequenze impulsive in esame sullo schermo del tubo a raggi catodici.

Questa instabilità (jitter), della traccia di B può però venire eliminata facendo partire la scansione dell'asse B, non più al termine del tempo di ritardo, ma tramite il suo comando di trigger, scegliendo il punto di trigger più conveniente sugli impulsi presenti sulla traccia nella zona intensificata e poi espansa con l'asse B.

In pratica, se si verifica questo tipo di instabilità (jitter), nella visione della traccia espansa con l'asse B, si opera come segue:

- si agisce sul comando LEVEL della sezione di trigger per ottenere una stabile visione della forma d'onda con la scansione dell'asse tempi A (vedi figura 30).
- con l'HORIZONTAL MODE su ALT si sceglie, regolando il potenziometro di precisione B DELAY TIME MULTIPLIER il dettaglio che interessa, nella forma d'onda, facendolo coprire dall'inizio della intensificazione luminosa della traccia.
- constatata una instabilità nella visione della traccia relativa all'asse B, si regola il comando di LEVEL del B TRIGGER (in alto tra i comandi della sezione trigger come indica la figura 30 relativa al modello TEK 2215), e con il commutatore SLOPE si sceglie pure la pendenza più opportuna per consentire un punto di trigger e quindi una visione stabile.

Al solito ci vuole molto più tempo a descrivere questi comandi che a metterli in funzione. In un momento, con una semplice regolazione, è possibile quindi eliminare ogni instabilità nella visione della traccia relativa all'asse-tempi B.

Se invece, con forme d'onda rigorosamente periodiche, non è necessario il trigger per l'asse B, basterà lasciare il comando LEVEL del B TRIGGER ruotato completamente in senso orario fino al termine della corsa, in corrispondenza della dicitura "CW RUN AFTER DLY"; questa dicitura sta a significare che, con il comando in questa posizione, l'asse-tempi B effettua la sua scansione liberamente iniziando a partire dal termine del tempo di ritardo alla scansione stessa.

Concludendo: i comandi del "B TRIGGER" e cioè SLOPE e LEVEL permetteranno un'ottima visualizzazione nitida e stabile nel tempo anche se il segnale scandito da A introdurrà della instabilità (jitter).

MODALITÀ OPERATIVE PER MIGLIORARE ULTERIORMENTE LA PRECISIONE NELLA LETTURA DEI TEMPI

La linearità di scansione degli assi tempi A e B consente, come si è visto, una buona precisione nella lettura dei tempi specie tenendo conto che i comandi di trigger per l'asse B possono permettere una traccia nitida e stabile anche con segnali non perfettamente periodici e quindi con un certo jitter.

L'asse tempi B convenientemente spinto, come velocità di scansione, consentirà, intervenendo dopo un dato ritardo, di analizzare e misurare, come tempi, ogni particolare della forma d'onda; se necessario il comando di "magnificazione" X 10 consentirà poi di espandere ancor più in senso orizzontale il particolare da analizzare.

La tecnica del doppio asse tempi consente però di eseguire le misure dei tempi con precisione ancora maggiore agendo con il comando B DELAY TIME POSITION.

Esso infatti va considerato non solo come un dispositivo per la scelta del particolare da analizzare, ma anche come un vero e proprio sistema di misura.

Non per nulla questo comando è stato realizzato, nel modello TEK 2215, con un potenziometro a 10 giri a rotazione elicoidale e quindi con un ampio sviluppo di superficie di contatto per il cursore; questo può venire quindi individuato con grande precisione, come posizione potenziometrica, grazie ad una scala che prevede 10 divisioni principali (che compaiono con 10 numeri dallo 0 al 9 nella finestrella alla sommità del comando), e 100 divisioni secondarie lungo il bordo graduato.

Si può leggere quindi addirittura su 1000 divisioni di scala. Ciò premesso il procedimento per arrivare sino al ± 1,5% di approssimazione nelle misure di tempo è il seguente:

- si dispone per l'impiego dell'asse tempi B ritardato da A con il comando di Trigger per l'asse B ruotato tutto in senso orario sino a CW RUN AFTER DLY.
- si fa iniziare, con HORIZONTAL MODE su ALT la zona della traccia a luminosità intensificata dal punto di inizio del tempo da misurare. Ci si potrà basare anche sui dettagli che compariranno sulla traccia parallela relativa alla scansione dell'asse tempi B.
  Ciò fatto si annoterà a parte la lettura di scala relativa alla posizione del comando.
- si ruota poi il comando B DELAY TIME POSITION sino a che la zona a luminosità intensificata non inizi là ove termina il tratto di traccia da misurare come tempi. Si annota di nuovo la lettura di scala relativa.
- si sottrae la prima lettura di scala dalla seconda e si moltiplica il risultato per il tempo per divisione relativo alla posizione del commutatore SEC/DIV dell'asse A.

Nell'esercizio 11 il lettore troverà un esempio di questo metodo preciso quanto facile ad eseguirsi per la misura dei tempi relativi a porzioni di una forma d'onda ivi compresi ovviamente i tempi di salita e discesa, così importanti per individuare la modalità di risposta di un qualsiasi quadripolo (definito anche come "apparato a quattro morsetti", due di ingresso e due di uscita).

CAPITOLO 10

LE PRESTAZIONI DELL'OSCILLOSCOPIO

Le prestazioni di un oscilloscopio vànno prese in considerazione sotto due diversi e distinti punti di vista:

- come i dati risultanti di un progetto condotto a cura della Casa Costruttrice.
- come caratteristiche di lavoro da utilizzare per l'esecuzione delle misure.

Perchè le caratteristiche di lavoro corrispondano ai dati di progetto è necessario che l'apparato di misura sia ben tarato nonchè correttamente messo a punto includendo in queste operazioni anche la taratura delle sonde cosi come si è discusso più indietro nel testo.

Ma anche in queste condizioni, con lo strumento cioè perfettamente messo a punto e tarato, occorre tenere presente che le caratteristiche di lavoro relative all'oscilloscopio con cui si opera, possono avere, caso per caso, la loro influenza sulle misure.

RISPOSTA ALLE ONDE QUADRE ED ALLE ALTE FREQUENZE

Vediamo ora che cosa si intende per taratura e corretta messa a punto di un oscilloscopio. Ci si riferisce essenzialmente agli amplificatori di canale della sezione verticale. Da essi dipendono infatti le caratteristiche di spicco e più importanti di un oscilloscopio: la larghezza di banda e il tempo di salita.

In fabbrica si procede alla taratura di questi amplificatori con un'operazione di compromesso che riguarda la "compensazione" degli stadi di amplificazione in corrispondenza del limite superiore di frequenza.

Si alimentano in pratica gli amplificatori in ingresso con una onda quadra a fianchi molto ripidi. Come indicato in figura 22, si possono avere tre diverse condizioni di risposta alle alte frequenze:

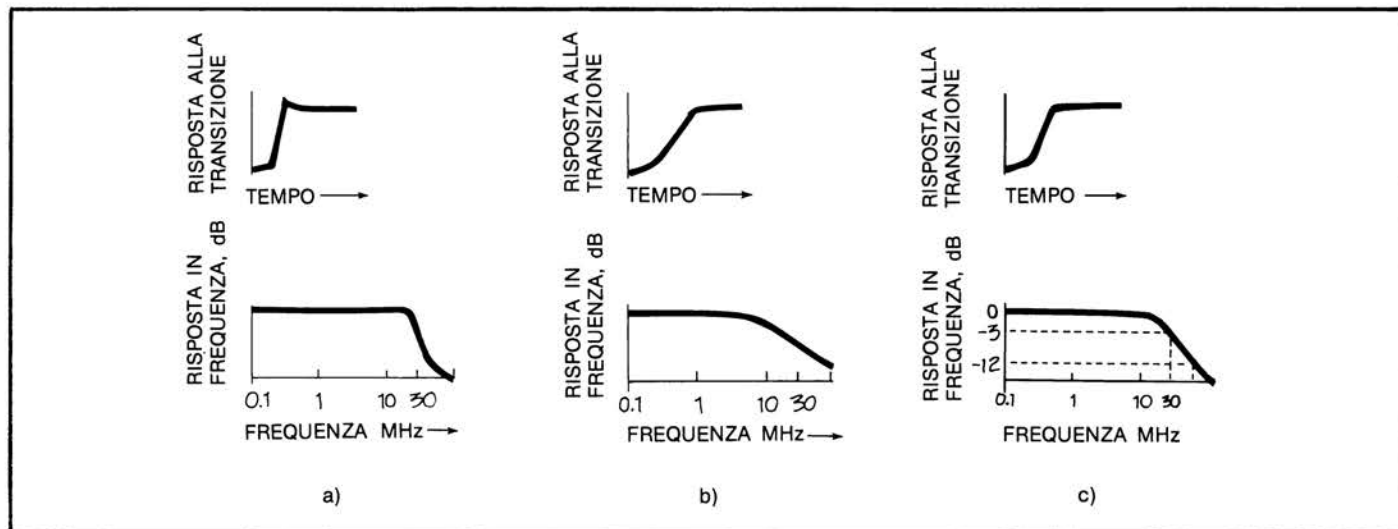



Figura 32

La compensazione alle alte frequenze, al limite della banda di lavoro, negli amplificatori verticali di un oscilloscopio può influenzare la corretta riproduzione dei fronti di salita delle forme d'onda impulsive inviate, per essere analizzate, all'ingresso dei canali.
Se, come indicato in a) in figura, si introduce un eccesso di compensazione si potrà avere una buona resa quanto a riproduzione dei fronti di salita ma si verificheranno pure degli "overshoot" nella curva di risposta. E questi ne altereranno la linearità.
Se invece, come indicato in b) in figura, la compensazione sarà troppo bassa si verificherà un taglio sia nella risposta ai transitori che nella risposta in frequenza.
Con una corretta compensazione (al "critico"), invece, come indicato in figura in c), la curva di risposta degli amplificatori verticali raggiungerà il limite di frequenza previsto nel corso del progetto, senza alterazioni da "overshoot" e si avrà la risposta ai transitori concessa dalla larghezza di banda di lavoro.

— i circuiti di amplificazione sono "sovracompensati". La risposta alle alte frequenze è buona e così pure il tempo di salita delle onde quadre amplificate, ma l'amplificazione è poco fedele in quanto "preshoot" ed "overshoot", presenti nell'andamento delle onde quadre in uscita dagli amplificatori, dimostrano che esiste una tendenza all'innesco (e cioè all'instabilità dell'amplificazione), nonchè alla esaltazione delle frequenze più elevate.

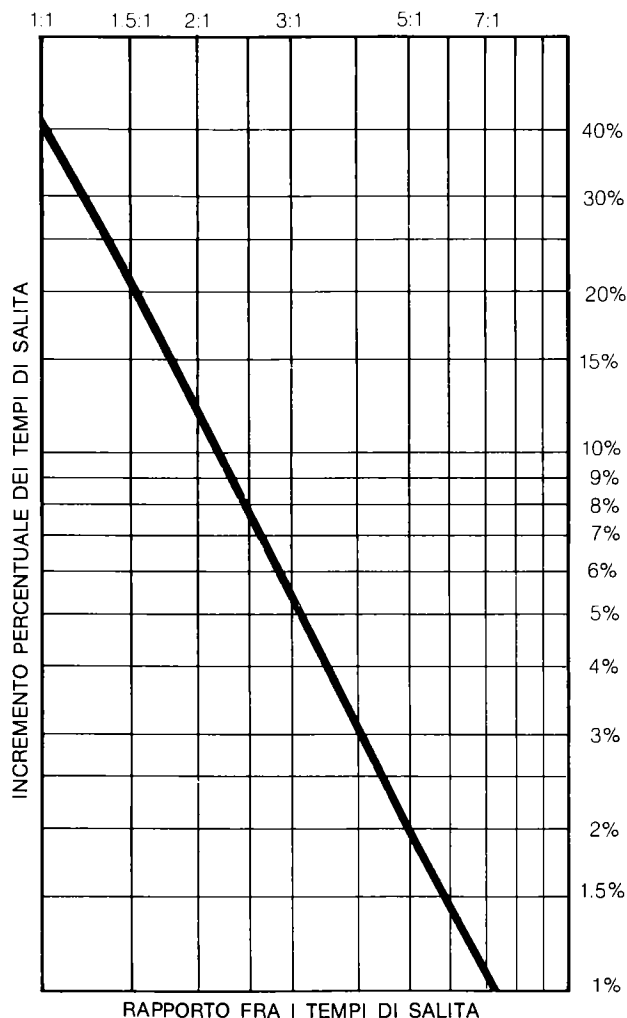



Figura 33

Se si analizza il tempo di salita di una forma d'onda con un oscilloscopio dotato di una data banda di lavoro e quindi con un proprio tempo di salita si introduce un errore di misura. In pratica si misura un tempo più alto di quello della forma d'onda. Questo errore sarà tanto più elevato quanto minore sarà il rapporto fra i due tempi di salita: quello del fronte d'onda che si intende misurare e quello proprio caratteristico degli amplificatori della sezione verticale dell'oscilloscopio.
Come si può notare dal grafico riportato in figura, se il tempo di salita dell'oscilloscopio è cinque volte più rapido di quello da misurare l'errore sarà all'incirca del 2%.
Se invece il tempo da misurare sarà al limite eguale a quello tipico dell'oscilloscopio l'errore salirà al 41%. In luogo di 100 nanosecondi, ad esempio, se ne potranno rilevare 141.

— i circuiti sono "sottocompensati". Non si ha più tendenza all'innesco, ma a spese della larghezza di banda e del tempo di salita che peggiorano nettamente (banda meno estesa e tempo di salita più alto).

— i circuiti infine sono "correttamente compensati" (si dice, in termini tecnici, che sono "caricati" al punto critico); in queste condizioni non si hanno nè "preshoot" nè "undershoot", scompare la tendenza all'innesco, ed il tempo di salita e la banda di lavoro tornano ad esser vicini a quelli ottenuti con la sovracompensazione. È il massimo delle prestazioni: la banda più estesa cioè ed il tempo di salita più ridotto che si possano ottenere con i circuiti a disposizione.

Si tratta di operazioni di taratura piuttosto delicate che richiedono personale di alta qualificazione oltre a strumentazione con caratteristiche di lavoro ovviamente molto più spinte di quelle che si desidera mettere a punto. Anche questo dettaglio dà una ragione al costo sempre più ridotto, ma ancora sensibile, che raggiunge attualmente l'oscilloscopio.

TEMPO DI SALITA PROPRIO DELL'OSCILLOSCOPIO E MISURABILE CON ESSO

Il tempo di salita proprio degli amplificatori verticali di un oscilloscopio è un dato di grande importanza in quanto il tempo di salita di uno strumento di misura influisce sulla precisione con cui esso, a sua volta, consente la misura di altri tempi di salita.

Il tempo di salita misurato (Tr), risulta infatti da due componenti: tempo di salita effettivo del segnale da analizzare (Ts), e tempo di salita proprio dello strumento di misura (Tm), secondo l'espressione:

$$Tr = \sqrt{Ts^2 + Tm^2}$$

In termini pratici ciò sta a significare che la precisione con cui si opera con uno strumento di misura è del tutto predeterminabile e che dipende dalla larghezza di banda, e quindi anche dal tempo di salita della sezione verticale dell'oscilloscopio che si ha a disposizione per le misure.

Il grafico di figura 33 dà un'idea degli errori che si possono verificare in queste condizioni. In pratica, come si può vedere, per misurare con un errore del 2% (che è già tollerabile), occorrerà un oscilloscopio cinque volte più veloce, come tempo di salita, del segnale da misurare.

Ma per scendere ad un errore solo dell'1% è necessario operare con un rapporto di 7 a 1.

LARGHEZZA DI BANDA E TEMPO DI SALITA

I canali verticali di un moderno oscilloscopio sono dotati di amplificatori progettati con una banda di lavoro piuttosto ampia che si estende dalla corrente continua (CC come simbolo in lingua italiana o DC come simbolo in lingua inglese riferito all'espressione Direct Current), sino ad una frequenza in genere piuttosto elevata. I limiti di una banda di lavoro vengono definiti come le frequenze di un segnale sinusoidale per le quali l'amplificazione rende al 0,707 (o — 3 dB), del valore che invece è disponibile per un segnale al centro della banda stessa.

Gli oscilloscopi più moderni non hanno in pratica un limite inferiore di banda di lavoro perchè partono dalla corrente continua; per definire la banda di lavoro si cita quindi solo il limite superiore di frequenza che, per i due oscilloscopi TEK 2213 e 2215 sin qui citati, è di 60 MHz.

Questo limite superiore di frequenza dà un'idea quindi della banda di lavoro, ma occorre tenere presente che la banda cosi definita è riferita a segnali sinusoidali; che l'attenuazione cioè di 0,707, o -3dB al limite di banda, si verifica solo per questo tipo di segnali privo di componenti armoniche.

Se ad esempio, come indica la figura 34, si analizza una forma di onda complessa come un segnale ad onda quadra o similare, sarà invece necessario disporre di una banda di lavoro che sia da quattro ad otto volte più ampia, come limite superiore, della frequenza fondamentale del segnale analizzato; questa banda è infatti indispensabile perchè si abbia una riproduzione accettabile della effettiva forma d'onda.

La spiegazione di questo fatto è presto data: le forme d'onda complesse sono composte da una componente fondamentale e da una serie di altre componenti armoniche di frequenza multipla della fondamentale (si dicono appunto seconda, terza, quarta armonica e cosi via); sono queste componenti armoniche appunto che rendono la forma d'onda diversa, come aspetto, dalla fondamentale che è di tipo sinusoidale.

Per riprodurre anche queste armoniche è necessario ovviamente disporre di una banda che permetta l'amplificazione non solo della fondamentale ma anche delle armoniche; la banda deve quindi essere sino a dieci volte (per una riproduzione veramente buona della forma d'onda), più ampia, come limite superiore di frequenza, della frequenza base o fondamentale della forma d'onda da analizzare.

Si verifica cioè qualcosa di molto vicino a quanto si è detto a proposito della riproduzione dei fronti d'onda.

D'altra parte, come già si è visto nel testo, esiste una precisa e semplice relazione, in base ad una sola costante, tra tempo di salita Tr e larghezza di banda BW (da Band Widt cioè in lingua inglese):

$$\text{Tr (in nanosecondi)} = \frac{350}{\text{BW (in Megaherz)}}$$

Per gli oscilloscopi, ad esempio, della serie TEK 2200, che operano con una banda dalla corrente continua ai 60 MHz, il tempo di salita Tr proprio dello strumento è di 5,8 nanosecondi.

Sarà quindi possibile, con la serie TEK 2200, riprodurre, solo con un errore del 2%, tempi di salita sino a circa 25 nanosecondi e visualizzare perfettamente forme d'onda comunque complesse con una frequenza fondamentale sino a 6-8 MHz.

Riassumendo:

- i dati caratteristici di lavoro degli oscilloscopi vanno attentamente considerati per verificare se essi si prestano alle misure che si desidera eseguire.
- fondamentali, tra questi dati, sono le prestazioni degli amplificatori verticali che vengono infatti oculatamente progettati ed altrettanto accuratamente messi a punto prima che lo strumento sia consegnato al cliente.
- per una buona riproduzione dei fronti d'onda occorre disporre di un oscilloscopio con un tempo di salita proprio da cinque a sette volte inferiore, come valore, a quelli da analizzare.
- per una corretta visualizzazione delle forme d'onda è invece necessario disporre di un oscilloscopio con una banda di lavoro che sia da otto a dieci volte superiore, come limite superiore, alla frequenza fondamentale della forma d'onda da riprodurre.

Queste considerazioni conclusive danno una ragione della attuale tendenza ad utilizzare oscilloscopi dotati di una banda

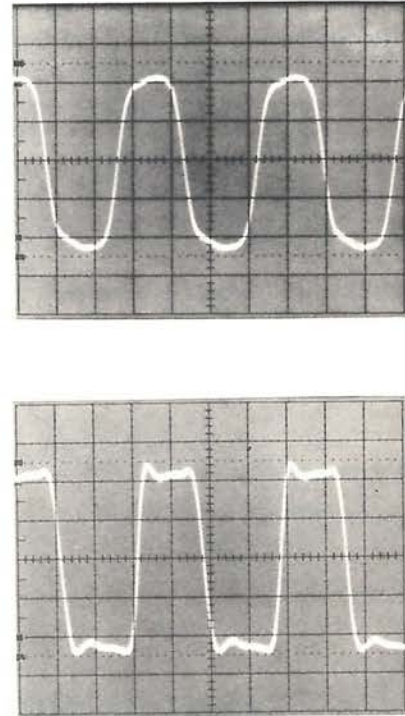



Figura 34

La larghezza di banda di un oscilloscopio è basata sulla sua capacità di riprodurre l'andamento di forme d'onda sinusoidali. Il limite superiore di banda può infatti venire definito come la frequenza per la quale l'ampiezza di una sinusoide si riduce al 0,707 del valore rilevabile al centro della banda di lavoro.
Per tenere conto delle specifiche relative alla larghezza di banda occorre quindi tenere presente che molto spesso i segnali da analizzare non avranno un andamento sinusoidale.
Le onde quadre, ad esempio, con i loro fronti d'onda di salita e di discesa, comportano una buona quantità di informazioni di frequenza superiore a quella relativa al tempo di ripetizione delle onde quadre stesse.
Se tale frequenza si avvicinerà al limite superiore di banda dell'oscilloscopio, queste informazioni andranno inevitabilmente perse in buona parte e la forma d'onda dell'onda quadra risulterà quindi deformata. Le due fotografie in figura danno un'idea di questa deformazione; esse si riferiscono infatti ad un'onda quadra di 15 MHz riprodotta, nella fotografia più in alto, con un oscilloscopio da 35 MHz ed in quella più in basso con una banda di 60 MHz.

di lavoro sempre più ampia specie per i servizi di manutenzione.

Con il progresso scientifico e tecnologico divengono infatti accessibili a tutti ormai anche le tecniche più sofisticate un tempo oggetto solamente di costosi studi di laboratorio. Così è ad esempio per i calcolatori, per la tecnica di scambio dati ad alta velocità, per la moderna telefonia elettronica, per la televisione a colori sia diffusa via etere che in circuito chiuso, e così via.

A questa sofisticazione sempre più spinta corrispondono tempi di trasmissione, per le informazioni, sempre più ridotti e quindi frequenze base di lavoro sempre più elevate con forme d'onda molto complesse ed a fianchi di conseguenza molto ripidi.

Ecco perchè da 10-15 MHz di banda di lavoro comunemente impiegati sino a pochi anni fa si è passati ai 40-60 MHz attuali.

CAPITOLO 11

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Termina qui questa nostra introduzione agli oscilloscopi di uso più comune per forme d'onda periodiche o ripetitive.

Abbiamo cercato di sintetizzare al massimo i concetti più importanti esponendoli, nello stesso tempo, con una trattazione pratica e lineare adatta a soddisfare una gamma di lettori la più vasta possibile, accogliendo anche i meno preparati alla tecnica elettronica ed alle misure relative.

Proprio per questo nostro proposito abbiamo abbondato in figure ed esercizi pratici a corredo di ogni capitolo.

Seguiranno d'altra parte in appendice altri esercizi ancora, scelti tra quelli più adatti ad introdurre il lettore nelle varie applicazioni possibili (e sono tante), di un oscilloscopio.

Certo, proprio perchè si tratta di uno strumento universale, maneggiare con competenza e pratica operativa un oscilloscopio non è per nulla una cosa semplice.

Riteniamo tuttavia che il lettore, con un poco di buona volontà ed applicazione, potrà impadronirsi senza troppa difficoltà delle misure base che permette l'oscilloscopio, specie se, oltre alle illustrazioni del testo, potrà disporre di un vero e proprio oscilloscopio a sua disposizione.

Il resto lo farà, se il caso, quel grande maestro che è il lavoro di tutti i giorni.

Con il lavoro, ed un poco di passione, seguendo ogni giorno le norme pratiche base si cui abbiamo disseminato il testo, il lettore potrà assimilare così bene la tecnica oscilloscopica che queste misure diventeranno in pratica una sua seconda natura.

Ripetiamo ancora che, una volta assimilati bene i concetti base infatti, il maneggio rapido dei comandi dello strumento diventerà una cosa quasi automatica.

Gli autori, come pure il traduttore ed estensore dell'edizione italiana, sono comunque a disposizione dei lettori, tramite la Casa Editrice Americana o Italiana, per rispondere a tutti i quesiti o richieste di spiegazione che il lettore potrà sempre liberamente avanzare in qualsiasi momento.

PARTE TERZA

Appendice

CONSIDERAZIONI SUL RITARDO ALLA SCANSIONE

Al lettore che si è già introdotto ormai nella tecnica oscilloscopica, con il valido ausilio della prima e seconda parte di questo testo, potrà interessare un esame in dettaglio di come avviene in pratica il ritardo alla scansione.

Inseriamo quindi volentieri una nota tecnica che spiega in modo pratico ed efficace come funziona il ritardo alla scansione negli oscilloscopi di tipo convenzionale modello TEK 2215 e nel nuovo modello TEK 2213 che consente questa prestazione con sensibile risparmi circuitali e quindi anche di prezzo, pur permettendo risultati di tutto rispetto.

Il ritardo alla scansione (Swep delay), negli oscilloscopi moderni e più sofisticati, viene introdotto per risolvere un problema tipico dell'analisi delle forme d'onda ripetitive più complesse.

Se infatti, con riferimento alle figure 35 e 36, occorre ànalizzare una sequenza di segnali impulsivi che si ripetono sistematicamente nel tempo, una certa analisi in dettaglio dei primi impulsi è ancora possibile, aumentando la velocità di scansione dell'asse tempi (A), (riducendo cioè il tempo di scansione per divisione orizzontale), almeno fino a che gli impulsi P1 ÷ P5 restano visibili sullo schermo.

Per un controllo ulteriore e più approfondito, ad esempio, dei tempi di salita e di discesa degli impulsi P1 - P4 e soprattutto per un'analisi completa dell'impulso P5, è invece necessario, con i circuiti convenzionali, inserire un tempo di ritardo, variabile a piacere, al termine del quale entri in funzione un secondo asse tempi (B); esso, con una notevole velocità di scansione, permetterà al limite di utilizzare tutto lo schermo dell'oscilloscopio per la visualizzazione anche di un singolo particolare della forma d'onda di P5.

Poichè è dal fronte d'onda di salita di P1 che viene ricavato il comando di sgancio (triggherazione), del primo asse tempi A, il tempo di ritardo T da inserire nel nostro caso sarà dato dalla relazione:

$$T = T2 - T1$$

La figura 36, con lo schema a blocchi di un oscilloscopio convenzionale a due Assi tempi A e B (come è appunto il modello recente TEKTRONIX 2215), permette di esaminarne da vicino il funzionamento.

In pratica, quando la forma d'onda di figura 35 (un treno di impulsi), venga applicata al circuito di ingresso (1) dello strumento, il segnale relativo viene convenientemente amplificato e parte di esso applicato al circuito di sgancio (5), (o di trigger), del primo asse tempi A.

In corrispondenza a T1 quindi, l'asse tempi A inizia la sua scansione generando una tensione di deflessione, per l'asse orizzontale X del tubo a raggi catodici, progressivamente crescente nel tempo. Questa tensione viene applicata sia all'amplificatore orizzontale (10), che ad un circuito di comparazione (11); quando la tensione generata da A arriva al livello prefissato manualmente con il potenziometro (12), viene attivato il circuito di sgancio (8), (o di triggerazione), dell'asse tempi B (9).

Il circuito di sgancio (o di trigger) (8), di B provvede pure a sbloccare l'asse Z del tubo a raggi catodici (4); da quest'istante quindi compare la traccia luminosa sullo schermo.

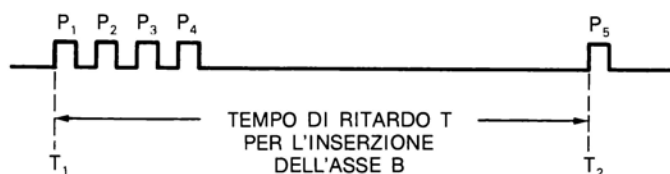



Figura 35

Sequenza ripetitiva di impulsi. Per l'analisi delle caratteristiche dell'impulso P5 è necessario operare con un tempo di ritardo alla scansione di valore T.

L'asse tempi B (9) provvede poi a generare a sua volta una tensione progressivamente e linearmente crescente che viene applicata all'amplificatore dell'asse X orizzontale (10), che provvede come si è già visto ad alimentare le placchette orizzontali di deflessione del tubo a raggi catodici (4). Diviene così possibile l'analisi della forma d'onda di P5 in ogni dettaglio, regolando allo scopo la velocità di scansione di B e, se il caso, introducendo l'espansione X 10 (magnifier), dell'asse orizzontale X.

Da quanto si é visto, il tempo T di ritardo è funzione:

- del valore di scala, in tempo/divisione, su cui è stato commutato il comando relativo dell'asse tempi A.
- alla posizione della manopola del potenziometro che fornisce la tensione di riferimento, relativa al tempo di ritardo desiderato T, per il comparatore di tensione che comanda lo sgancio dell'asse tempi B.

Ciò significa, in poche parole, che l'asse tempi A (17), tramite il comparatore di tensione (11) ed il comando di ritardo

dell'asse B a potenziometro (12), è niente di più, in pratica, che un temporizzatore calibrato.

Tra l'altro, se lo si desidera, è possibile visualizzare su due tracce parallele e distanziate tra loro sullo schermo del tubo, sia la scansione dell'asse tempi A che quella dell'asse B semplicemente utilizzando un commutatore elettronico che provochi la continua e successiva scansione dei due assi su due tracce distinte.

Nella pratica operativa effettivamente, può risultare utile e pratico poter vedere contemporaneamente, su di una traccia la forma d'onda complessiva con intensificato come luminosità il tratto che si desidera analizzare in dettaglio e, su di una traccia successiva, il dettaglio stesso convenientemente espanso con il comando tempo/divisione dell'asse B.

Da tutte queste considerazioni risulta che, per operare con un ritardo nella scansione (sweep delay), in un oscilloscopio convenzionale è necessario disporre di un certo numero in più di circuiti e comandi e precisamente:

- di un generatore di trigger per l'asse tempi B (o trigger B), (8 in figura 36).
- di un commutatore per l'asse tempi B per le relative portate in tempo/divisione.
- di condensatori e resistenze per le temporizzazioni dell'asse tempi B.
- di un circuito integratore di Miller per l'asse tempi B.
- di un comparatore per il tempo di ritardo (11 in figura 36).
- di un comando a potenziometro (elicoidale di precisione tipo "Helipot"), per il comando del tempo di ritardo (12 in figura 36).
- dei circuiti di comando per lo sgancio (trigger), dell'asse tempi B (8 in figura 36).
- di un comando di tipo coassiale che riunisca in modo pratico, compatto ed agevole i due comandi di tempo di scansione per i due assi tempi A e B.
- di un commutatore elettronico per la scansione alternata dell'asse tempi A e B.

Si tratta di particolari circuitali e di comando che aumentano la complessità ed il costo dello strumento; ma se si decide di fare a meno dello sgancio dell'asse B dopo un dato ritardo e della visione alternata della scansione A e B, si può semplificare sensibilmente l'analisi con ritardo di scansione (sweep delay), impiegando un solo asse tempi.

Questo criterio di progetto è stato appunto impiegato nell'oscilloscopio di nuova concezione modello 2213 recentemente presentato dalla TEKTRONIX, con la nuova serie 2200.

Vediamone il funzionamento. Con riferimento alla figura 37, si hanno tre distinte modalità di funzionamento, a ciascuna delle quali corrisponde l'azionamento di un commutatore di circuito:

— Con S1 chiuso il generatore di ritardo (7) non entra in funzione e, contemporaneamente, si sgancia l'unico asse tempi (8).

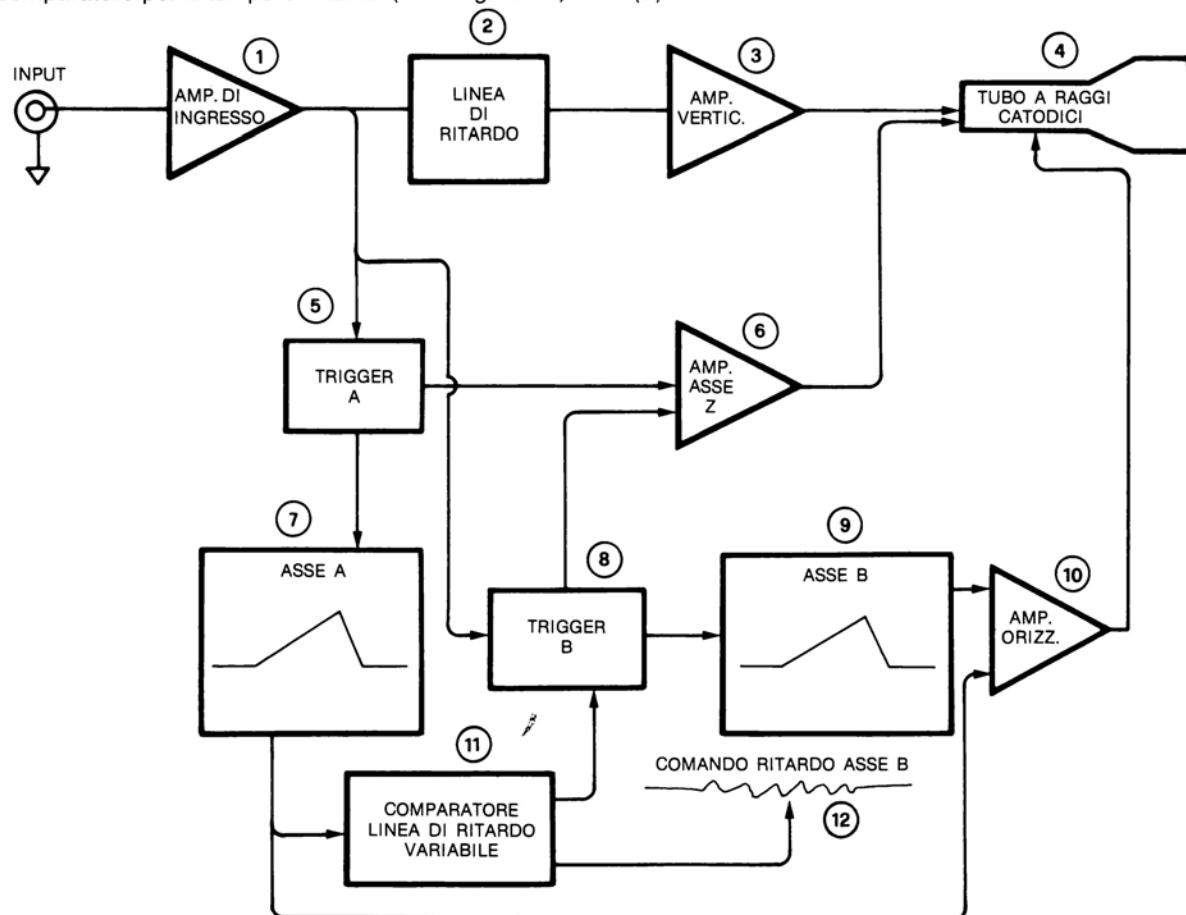



Figura 36

Schema a blocchi dei circuiti fondamentali di un oscilloscopio di tipo convenzionale con asse-tempi B ritardato dall'asse-tempi A (modello TEK 2215).

Questo a sua volta pilota l'amplificatore della sezione orizzontale (9) che comanda così la deflessione orizzontale.

La traccia può così venir visualizzata normalmente senza alcun ritardo alla scansione, anche perchè il trigger (5) provvede pure a sbloccare l'amplificatore di comando dell'asse Z (6) che, a sua volta, toglie la polarizzazione che bloccava l'emissione del cannone elettronico del tubo a raggi catodici.

In sostanza con il contatto di S1 chiuso si corto circuita il generatore di ritardo (7) che non entra in funzione anche perché non viene eccitato dal circuito di trigger a causa dei contatti S2 ed S3 che in questa fase di funzionamento restano aperti.

– Con i due contatti S2 chiusi, (ed S1 e S3 aperti), il generatore di ritardo (7) e l'asse tempi (8) vengono invece contemporaneamente eccitati e la traccia viene quindi visualizzata normalmente come nella fase precedente. Dopo un certo tempo, regolato tramite una polarizzazione introdotta dal comando di ritardo dell'asse tempi (10), il generatore di ritardo (7) interviene però con un comando di intensificazione della luminosità della traccia che, da quel momento in poi, risulterà molto più evidente sullo schermo del tubo a raggi catodici.

L'inizio della intensificazione luminosa della traccia segnala così il punto a partire dal quale può venir introdotta, con S3 chiuso, la scansione ritardata.

Agendo sul comando di ritardo (10) questo inizio di identificazione potrà venir spostato a piacere lungo la traccia in modo da ricoprire appena il particolare della forma d'onda che si desidera osservare in dettaglio.

In pratica la luminosità di traccia viene così ridotta per tutta la durata del ritardo ed intensificata subito dopo, in modo da segnalare il punto della forma d'onda a partire dal quale si può operare con scansione ritardata.

– Con S3 chiuso, (ed S1 ed S2 aperti), il generatore di ritardo (7) opera in serie al comando di sgancio (trigger), (5). Per conseguenza la partenza della scansione resta ritardata sino a che il generatore di ritardo non ha esaurìto il suo tempo di lavoro, prefissato con il comando relativo a potenziometro (10). In pratica è possibile scegliere a piacere il ritardo nel campo da 0,5 μ sec. a 4 ms.

Come si può notare il generatore di ritardo opera in pratica come l'asse tempi A negli oscilloscopi convenzionali con ritardo di scansione.

Rispetto a questi modelli, con l'oscilloscopio 2213 della TEKTRONIX si hanno due prestazioni in meno:

– si lavora con un solo asse tempi e quindi non si può avere la visione contemporanea della intiera forma d'onda e del particolare prescelto.

– si opera con un solo comando di sgancio (trigger), e quindi non si ha triggherazione dopo il ritardo.

In compenso le semplificazioni introdotte consentono di risparmiare, a detta della TEKTRONIX, circa 300 dollari di costi di fabbricazione.

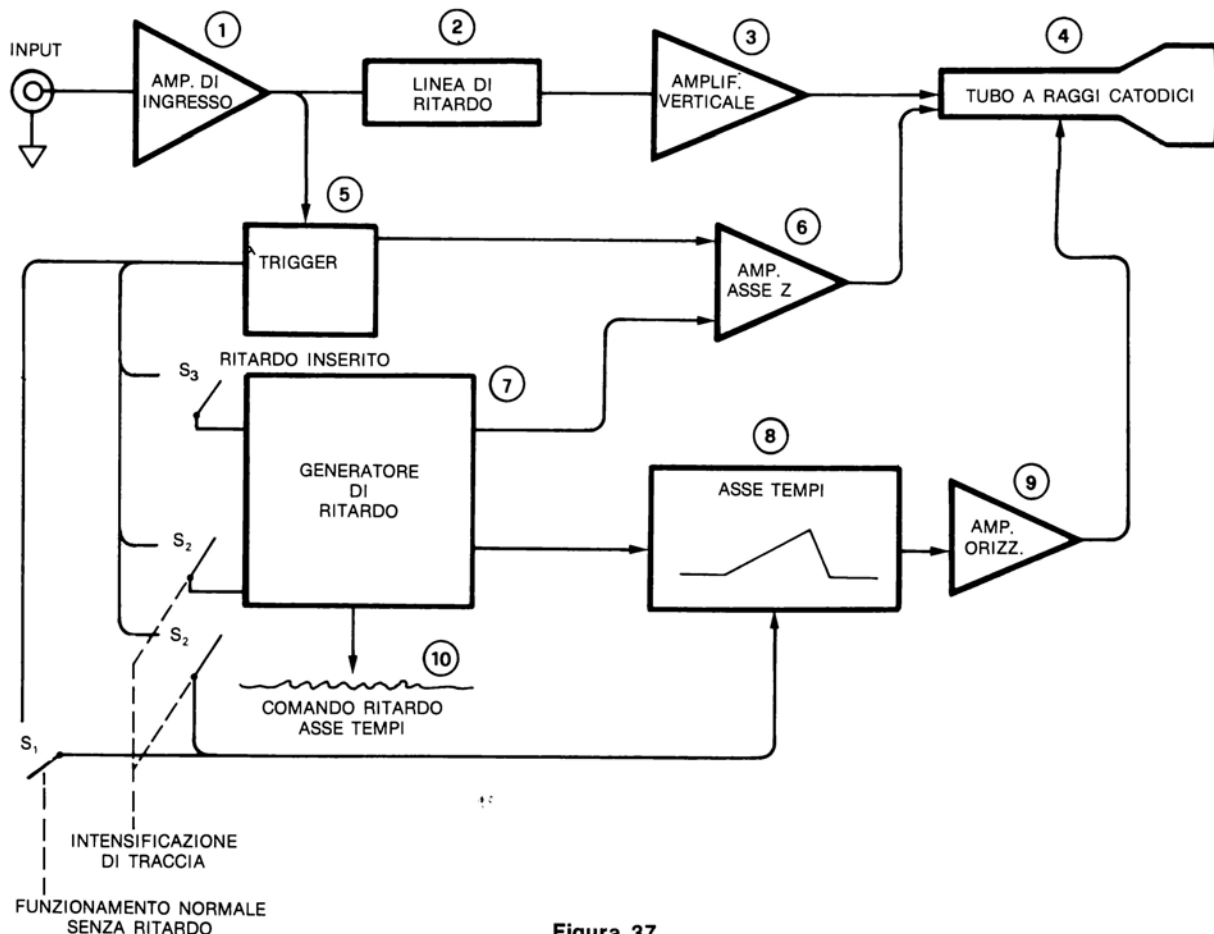



Figura 37

Schema a blocchi dei circuiti fondamentali di un oscilloscopio ad un unico asse-tempi ritardato da un generatore di ritardo. (modello TEK 2213).

ANALISI DEI VARI TIPI DI OSCILLOSCOPI

Il modello di oscilloscopio fin qui considerato è da ritenersi come la risposta a due moderne esigenze del mercato elettronico:

- la richiesta di una banda di lavoro sempre più ampia per le tecniche digitali dei microelaboratori.
- la necessità di provvedere, con mezzi portatili, alla rapida riparazione sul posto o in sedi decentrate (tecnica "on field"), dal numero sempre crescente di schede elettroniche a circuito stampato che periodicamente vanno fuori servizio per guasto.

Naturalmente nel più sta il meno; si può cioè affermare che questo nuovo modello, prodotto in grande serie e venduto quindi ad un prezzo molto interessante, permette di rispondere anche a molte altre esigenze pratiche: ad esempio a quelle tradizionali dei campi Hi-Fi Radio e TV.

Con questo strumento, come capita con tutti i modelli non a memoria, risulta difficile l'analisi di eventi di modesta durata sia che si presentino a intervalli di tempo con una certa ricorrenza sia che invece si tratti di transitori del tutto casuali.

Anche l'analisi di fenomeni operanti con frequenze molto basse (come può risultare necessario nelle applicazioni elettromedicali, biochimiche e nello studio di derive, battimenti o vibrazioni molto lente), può risultare poco agevole.

Per tutte queste applicazioni è necessario ricorrere agli oscilloscopi "a memoria". Si tratta di strumenti che impiegano speciali tubi a raggi catodici elaborati con tecniche sofisticate e, per conseguenza, molto costose.

Un insieme di speciali griglie disposte relativamente vicino ai fosfori dello schermo permette infatti la memorizzazione di segnali anche se di breve durata e molto rapidi nel tempo.

Recentemente i progressi nella tecnica digitale hanno permesso però di raccogliere in celle di memoria a circuito integrato i livelli dei segnali in arrivo; queste celle di memoria vengono poi esplorate sistematicamente in modo ricorrente, con una lettura periodica degli stati logici, in modo da generare un normale segnale di tipo ripetitivo.

Questa tecnica, per la precisione che consente nella definizione dei "punti di trigger", permette in pratica di generare dei segnali ripetitivi praticamente esenti da jitter; diviene quindi possibile passare, con ottime possibilità di lettura, dalla normale magnificazione X 10 a valori X 100 ed anche superiori che consentono così con tutta comodità e praticità l'analisi, in grande dettaglio, anche dei fenomeni transitori.

Ma esistono altri tipi ancora di oscilloscopi. Abbiamo focalizzato l'attenzione del lettore sui modelli destinati ai segnali periodici e ripetitivi e su quelli a memoria; ebbene tenteremo ora una rapida classificazione dei tipi fondamentali di oscilloscopi in modo da allargare ulteriormente l'orizzonte del tecnico che ci legge.

I primi oscilloscopi da ricordare sono i modelli per segnali periodici o ripetitivi che possiamo considerare come semi professionali e destinati prevalentemente ad applicazioni di tipo civile (Hi Fi, Radio, TV ecc.).

Fra questi segnaliamo:

- gli oscilloscopi ad un solo canale con banda di 2 ÷ 10 MHz.
- gli oscilloscopi a due canali ed un solo asse-tempi con banda di lavoro di 10 ÷ 20 MHz e senza possibilità di scansione ritardata ed espansione di traccia.

Sempre per segnali periodici e ripetitivi ma con applicazioni spiccatamente professionali seguono poi:

- gli oscilloscopi destinati solo all'analisi di segnali di bassa frequenza; essi operano con due canali che possono tra l'altro lavorare tra loro in differenziale con una reiezione in modo comune molto elevata.
  Presentano per di più la caratteristica di una banda poco estesa (1 o 2 MHz in tutto), che spesso viene pure regolata a piacere come limiti inferiore e superiore. I fosfori dello schermo di questi oscilloscopi permettono, con un'alta persistenza, l'analisi di fenomeni anche di periodo relativamente elevato.
- i tipi di oscilloscopi sin qui considerati con due canali, banda di 50-60 MHz, uno o due asse-tempi e la possibilità di effettuare analisi con scansione ritardata.
- oscilloscopi con banda sempre più ampia con modelli da 100, 250, 500 e più MHz di lavoro. Vengono naturalmente dotati di sonde adeguate ed operano con tubi a raggi catodici speciali con tensioni di post accelerazione anche di alcune decine di migliaia di Volt.
  Si tratta di modelli di notevole costo ma che possono venire spesso impiegati per una grande varietà di applicazioni; esistono modelli infatti realizzati con una tecnica cosiddetta "a cassetti" che consente di inserire sempre nel corpo di uno stesso oscilloscopio "sezioni verticali" e "sezioni orizzontali e di trigger" di caratteristiche caso per caso diverse e destinate a varie applicazioni.
  Fra questi cassetti merita di essere segnalato un tipo estremamente sofisticato che, con la tecnica "a campionamento" permette di abilitare un normale oscilloscopio al lavoro con due canali contemporanei e con frequenze sino ai 12.000 MHz ed oltre di limite superiore di banda.

Possiamo poi considerare gli oscilloscopi "a memoria" di cui abbiamo già fatto cenno; utilizzano tubi a raggi catodici molto sofisticati, di costo molto elevato (da tre a sei volte il costo di un tubo normale), oppure impiegano "memorie digitali".

Gli oscilloscopi "a memoria" permettono in genere sia la visione dell'andamento di segnali di breve durata nel tempo che anche l'analisi dei segnali periodici o ripetitivi.

La grigliatura di memoria che viene disposta vicino allo schermo del tubo a raggi catodici non consente però l'impiego di tensioni di post accelerazione molto elevate; per conseguenza non si possono analizzare andamenti molto veloci nel tempo.

Generalmente infatti gli oscilloscopi a memoria, anche se del tipo più sofisticato ed avanzato, non superano attualmente i 100 MHz di banda di lavoro.

Sono tutti modelli comunque di notevole costo destinati ad impieghi spiccatamente professionali, in specie di laboratorio. Si hanno in pratica le seguenti versioni costruttive:

- oscilloscopi a memoria digitale; consentono magnificazioni di 100 volte ed oltre e sono destinati prevalentemente all'analisi di fenomeni fisici anche di andamento molto lento o non correlati al tempo. La banda di lavoro è in genere molto modesta.

- oscilloscopi cosiddetti di tipo "bistabile"; essi consentono di operare in tecnica cosiddetta a "split screen" con lo schermo suddiviso cioè, a tutti gli effetti, in due metà memorizzabili separatamente l'una dall'altra. Sono destinati ai segnali molto lenti, al confronto di segnali che si presentano anche a notevole distanza di tempo fra loro ed a sequenze complesse di impulsi digitali.
  Sono anche di facile impiego, ma consentono una "velocità di scrittura" decisamente modesta: da 5 a 25 cm. per microsecondo.

- oscilloscopi cosiddetti "a persistenza variabile". Consentono una buona visione dei transitori ed in specie del rumore di fondo con tracce luminose ben contrastate ed anche con una certa scala nella tonalità dei grigi.
  Per di più permettono di arrivare a "velocità di scrittura" sino a 400 cm. per microsecondo, ma con una persistenza sullo schermo solo di qualche minuto al massimo.

- oscilloscopi cosiddetti "a trasferimento di memoria". Sono i modelli più aggiornati. Rispetto ai precedenti non consentono la scala dei grigi ma permettono velocità di scrittura più elevate ancora (sino a 1.500 cm./µ sec.); danno sempre una visione luminosa e ben contrastata ma soprattutto comportano una persistenza praticamente illimitata (anche per giorni e giorni), delle tracce sullo schermo del tubo a raggi catodici.

  Diviene quindi possibile predisporre i circuiti dello strumento in attesa del transitorio di segnale, tendendogli praticamente una trappola; a volte l'oscilloscopio viene lasciato in queste condizioni per lungo tempo sino a che il fenomeno sotto osservazione non si manifesta; l'alta persistenza consente naturalmente di verificare solo ogni tanto se l'evento si è verificato.

Riteniamo di avere fornito, con questa rapida classificazione, una utile panoramica sulla tecnica oscilloscopica. Rinviamo il lettore per ulteriori dettagli, a pubblicazioni più specializzate ma restiamo a sua disposizione per qualsiasi ulteriore dato tramite la casa editrice.

ESERCIZI PRATICI RISOLTI

Il lettore sin qui ha preso conoscenza con tutte le possibilità di lavoro degli oscilloscopi della serie TEK 2200. Descriviamo ora in dettaglio come si eseguono le misure più ricorrenti nella pratica di tutti i giori e forniamo ogni dato sulle procedure e le tecniche di misura da eseguire.

Al solito daremo le indicazioni di lavoro per il modello TEK 2213 e annoteremo tra parentesi le varianti relative al modello TEK 2215.

MISURE REALIZZATE SENZA ASSE-TEMPI RITARDATO

1) Procedura per ottenere una traccia orizzontale di linea di base

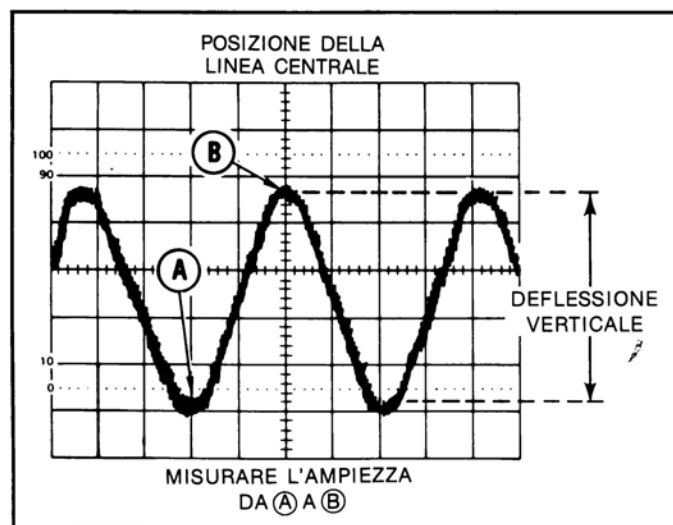



Figura 38
Misura dell'ampiezza picco-picco di una forma d'onda.

a) Predisporre come segue i comandi sul pannello frontale:

Sezione di visualizzazione:

AUTO-INTENSITY: tutto ruotato in senso antiorario sulla posizione di minima luminosità.
AUTO-FOCUS: a mezza corsa.

Sezione verticale (entrambi i canali):

AC-GND-DC: su AC.
VOLT/DIV: su 50 m (1 X).
CAL: tutto ruotato in senso orario sino alla posizione di arresto meccanico di fine corsa.
VERTICAL MODE: su CH1.
INVERT: escluso (pulsante in fuori).
POSITION: a mezza corsa.

Sezione orizzontale:

SEC/DIV oppure (A e B SEC/DIV): su 0,5 ms.
CAL: tutto ruotato in senso orario sino alla posizione di arresto meccanico di fine corsa.
HORIZONTAL MODE: su NO DLY (su A nel caso del modello TEK 2215).
Magnificazione X10: esclusa (bottone CAL premuto).
POSITION: a mezza corsa.
MULTIPLIER o (B DELAY TIME): tutto ruotato in senso antiorario.
POSITION: tutto ruotato in senso antiorario.
(A/B SWP SEP): a mezza corsa.

Sezione di Trigger:

HOLDOFF: su NORM (tutto ruotato in senso antiorario).

SLOPE: (A trigger)	sul + (levetta in alto).
LEVEL: (A trigger)	a mezza corsa.
MODE:	su AUTO (su P-P AUTO).
EXTERNAL COUPLING:	su AC.
SOURCE:	su INT.
INT (A e B INT):	su VERT MODE.
(B SLOPE):	sul +.
(B LEVEL):	tutto ruotato in senso orario.

b) Regolare il comando di AUTO INTENSITY sino ad ottenere, a piacere, una buona luminosità di traccia.
c) Regolare i comandi di POSITION in modo da centrare la traccia sullo schermo.

N.B. Nel caso la traccia non risultasse parallela alla linea orizzontale del reticolo seguire la procedura prevista nel capitolo 1 del testo per il comando semifisso TRACE ROTATION.

2) Misura di tensioni picco - picco

Procedere come segue:

a) Predisporre i comandi dello strumento in modo da ottenere una traccia lineare di base sullo schermo.
b) Applicare il segnale a c.a. all'ingresso di uno dei due canali e predisporre il comando del VERTICAL MODE sul canale prescelto.
c) Ruotare opportunamente il commutatore VOLT/DIV in modo che la traccia si estenda in altezza per circa cinque divisioni, ed assicurarsi che il comando CAL sia nella sua posizione di arresto di fine corsa.
d) Regolare il comando TRIGGER LEVEL (A TRIGGER LEVEL) in modo da ottenere una traccia stabile.
e) Regolare il comando SEC/DIV (A SEC/DIV) in modo che la traccia comprenda alcuni cicli completi della forma d'onda.
f) Regolare la posizione della traccia in senso verticale in modo che un picco negativo della forma d'onda poggi su di una delle linee orizzontali del reticolo (si veda il punto A nella figura 38).
g) Regolare la posizione orizzontale della traccia in modo che uno dei picchi positivi coincida con la linea verticale di centro del reticolo (si veda il punto B nella figura 38).
h) Misurare la deflessione verticale da picco a picco (così come indicato in figura 38 dal punto A al punto B).
N.B. Se la misura di ampiezza si presenta critica o se il percorso della traccia risulta ispessito (per la presenza di rumore di fondo o disturbi nel segnale), una misura più precisa può venire eseguita misurando tra la parte superiore del picco positivo e l'interno del picco negativo. Questa procedura elimina l'influenza dello spessore della traccia della misura.
i) Calcolare il valore della tensione picco - picco con la seguente formula:

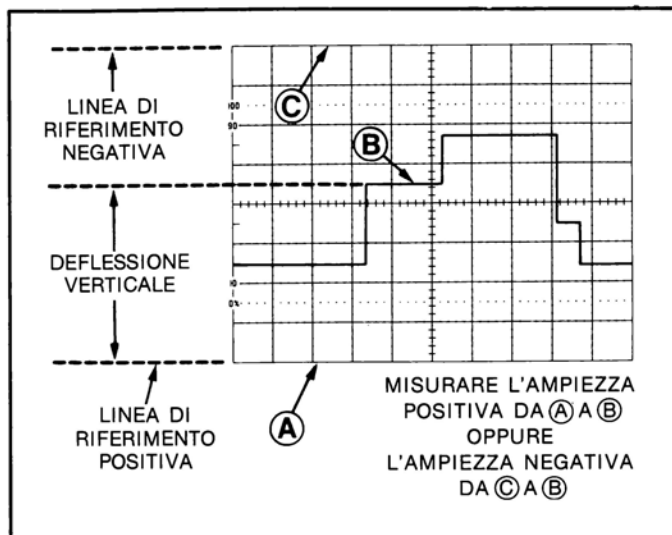



Figura 39
Misura della tensione continua istantanea di una forma d'onda.

Volt (picco-picco) =	deflessione verticale (in divisioni)	×	valore di scala di VOLT/DIV	×	fattore di attenuazione della sonda

ESEMPIO: La deflessione verticale misurata da picco a picco sia di 4,6 divisioni (vedi figura 38), il valore di scala di VOLT/DIV sia di 0,5 e l'attenuazione della sonda di 10. Con questi dati introdotti nella formula di cui sopra si ottiene:

Volt (picco - picco) = 4,6 X 0,5 X 10 = 23 Volt.

3) Misura di tensioni continue istantanee

Per misurare il livello di un dato punto di una forma d'onda conviene seguire la seguente procedura:

a) Predisporre i comandi dello strumento in modo da ottenere una traccia orizzontale di base (vedi esercizio n° 1).
b) Collegare il segnale al connettore di ingresso di uno dei due canali e predisporre il comando del VERTICAL MODE sul canale prescelto.
c) Verificare che il comando di regolazione fine CAL, alla sommità del comando VOLT/DIV, sia nella sua posizione di arresto meccanico di fine corsa e commutare la levetta del comando AC-GND-DC su GND.
d) Fare collimare la traccia lineare di base con la linea orizzontale di centro del reticolo.
e) Commutare la levetta del comando AG-GND-DC su DC. Se la forma di onda sale al di sopra della linea centrale del reticolo la tensione sarà da considerare come positiva; se invece la forma di onda scende sotto la linea centrale del reticolo la tensione è negativa.
N.B. Se si impiega il canale 2 occorre assicurarsi che il comando INVERT non sia inserito. Se il caso estrarre il pulsante.
f) Porre di nuovo la levetta di AC-GND-DC su GND e fare coincidere, con il comando POSITION, la traccia lineare di base con una linea orizzontale del reticolo presa come riferimento.

Se, ad esempio, la tensione della forma d'onda sarà positiva si potrà fare coincidere la traccia base con la prima linea orizzontale del reticolo a partire dal basso.
Se invece la tensione sarà negativa si sceglierà la prima linea orizzontale del reticolo in alto. (Si veda quanto indicato in figura 39).
Dopo questa regolazione il comando POSITION non va più ritoccato.
Si potrà verificare, se necessario, in qualsiasi momento la posizione della traccia lineare di base commutando la levetta di AC-GND-DC su GND.

g) Commutare il comando AC-GND-DC su DC.
h) Se il livello da misurare va considerato rispetto ad altro livello diverso da quello di valore zero di terra, si potrà collegare questo livello di riferimento al terminale di ingresso del secondo canale e considerare la traccia relativa come linea di riferimento per le misure.
i) Regolare il comando di LEVEL (quello dell'asse-tempi A nel caso del modello TEK 2215), in modo da ottenere una traccia stabile.
l) Commutare il comando SEC/DIV su di una posizione di scala che permetta l'osservazione di vari cicli della forma d'onda.
m) Con riferimento a quanto indicato in figura 39 misurare il numero di divisioni che intercorrono tra la linea di riferimento ed il punto considerato sulla forma d'onda in corrispondenza del quale si deve determinare il livello istantaneo.
n) Calcolare la tensione istantanea con la seguente formula:

$$\text{Tensione istantanea} = \text{divisioni di deflessione verticale} \times \text{polarità } (+ \text{ o } -) \times \text{posizione di scala del comando VOLT/DIV}$$

$$\times \text{ fattore di attenuazione delle sonde della scala}$$

ESEMPIO: La deflessione misurata, come indicato nella figura 39, rispetto alla linea di riferimento sia 4,6 divisioni per una forma di onda che risulti disposta sopra la linea di riferimento; il comando VOLT/DIV sia posto su 2V e si impieghino sonde attenuate 10 X con il comando SLOPE (quello dell'asse tempi A nel modello TEK 2215), commutato su , (più).
Sostituendo questi valori:

Tensione istantanea = 4,6 div. X(+1)X 2 V/div. X 10 = 92 V.

4) Misura della somma algebrica di due forme d'onda

Con i comandi VERTICAL MODE commutati su BOTH e ADD, la forma d'onda che compare sullo schermo è la somma algebrica dei segnali applicati agli ingressi dei canali 1 e 2 (CH1 + CH2). Se il pulsante INVERT del Canale 2 viene premuto, la forma d'onda risultante sarà invece la differenza tra i segnali applicati agli ingressi dei canali 1 e 2 (CH1 − CH2).

Il fattore di deflessione verticale per il calcolo della somma algebrica è eguale a quello dei comandi VOLT/DIV (che debbono venire commutati entrambi sulla stessa posizione di scala). L'impiego più comune per la modalità di lavoro ADD sta nell'inserzione di una tensione continua di offset per la lettura di un segnale sovrapposto ad un livello piuttosto alto di tensione continua.

Impiegando la modalità di lavoro ADD si dovranno osservare le seguenti precauzioni:

a) Non si dovranno collegare in ingresso all'oscilloscopio tensioni superiori a quelle massime ammesse.
b) Non si dovranno applicare segnali che superino più di otto volte all'incirca il valore di scala corrispondente alla posizione su cui si sono posti i commutatori VOLT/DIV dato che tensioni troppo elevate possono provocare distorsioni nella visualizzazione. Ad esempio con i commutatori VOLT/DIV posti su 0,5 la tensione applicata ai canali relativi non deve superare i 4 volt.
c) Regolare i comandi POSITION del canale 1 e 2 in modo da avvicinare il più possibile le tracce di ogni canale al centro dello schermo. Questa predisposizione fa sì che si disponga della maggiore dinamica possibile per la modalità operativa ADD.

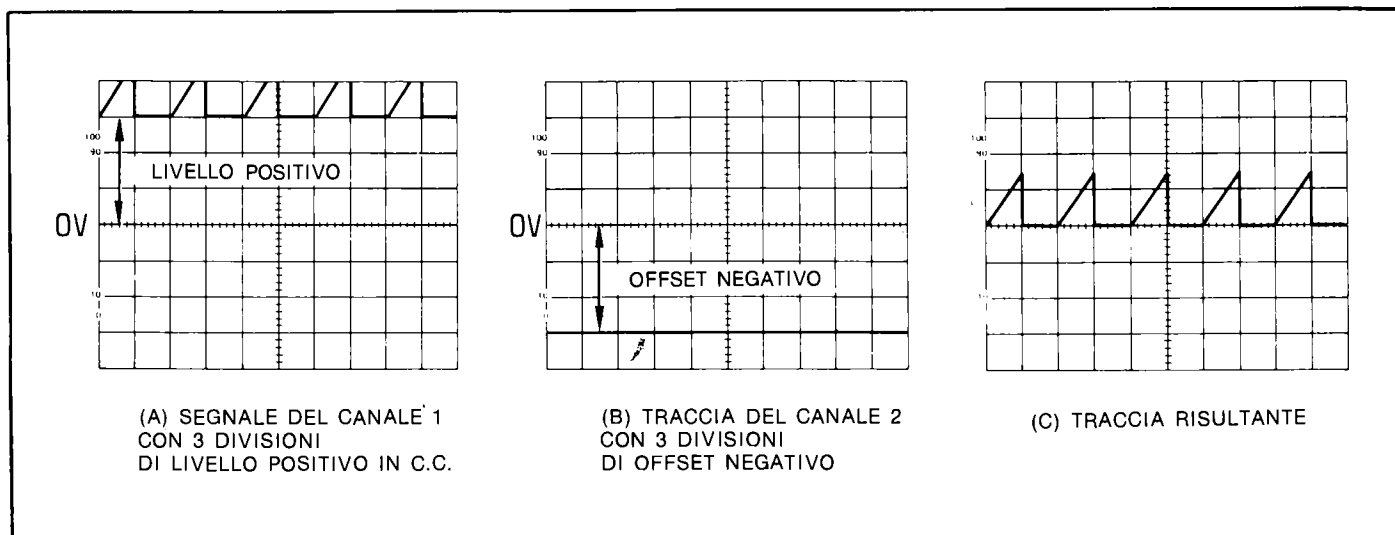



Figura 40

Misura di una forma d'onda con eliminazione della tensione di offset.

d) Per ottenere lo stesso comportamento da ogni canale entrambi i commutatori AC-GND-DC vanno posti sulla stessa posizione.
ESEMPIO: Considerando la linea centrale del reticolo come livello di riferimento zero, la componente alternata del segnale inizia a manifestarsi a partire dalla terza divisione di livello positivo in corrente continua (vedi figura 40 A). Ciò premesso:

e) Si moltiplicano le tre divisioni per il valore di scala del comando VOLT/DIV in modo da ottenere il valore del livello a tensione continua.
f) Si applica una tensione negativa in corrente continua al canale 2 (o positiva premendo il pulsante INVERT del canale 2), di valore pari a quanto calcolato al punto precedente (vedi figura 40 B).
g) Commutare i comandi VERTICAL MODE su BOTH e ADD; la traccia risultante risulterà centrata sullo schermo (vedi figura 40 C).

5) Impiego della reiezione in modo comune

La modalità di funzionamento ADD può venire impiegata anche per visualizzare segnali con componenti di frequenze indesiderate.

Queste componenti possono venire eliminate a mezzo della reiezione in modo comune.

Si dovranno osservare le precauzioni raccomandate nella precedente procedura relativa alla "Somma Algebrica" di due segnali.

ESEMPIO: Supponiamo che il segnale applicato al connettore di ingresso del Canale 1 contenga delle componenti indesiderate provenienti dalla rete di distribuzione a corrente alternata. Per esaminarla occorre seguire la seguente procedura:

a) Predisporre i comandi dello strumento in modo da ottenere una traccia lineare di base sullo schermo.
b) Applicare il segnale con le componenti di frequenza indesiderate all'ingresso del canale 1.
c) Applicare un segnale a frequenza di rete a corrente alternata all'ingresso del canale 2.
d) Commutare su BOTH e ALT i comandi del VERTICAL MODE e premere il pulsante relativo sul comando INVERT del Canale 2.
e) Regolare il comando VOLT/DIV del Canale 2 ed il comando CAL relativo alla regolazione continua fine della sensibilità del canale, in modo che la traccia prodotta dal Canale 2 sia pressapoco della stessa ampiezza dell'andamento indesiderato che si verifica nella traccia prodotta dal Canale 1 (si veda la figura 41 A).
f) Commutare il comando di VERTICAL MODE da ALT ad ADD e ritoccare leggermente il comando di sensibilità a regolazione fine CAL del Canale 2 fino ad ottenere il massimo di cancellazione della componente di frequenza indesiderata (si veda la figura 41 B).

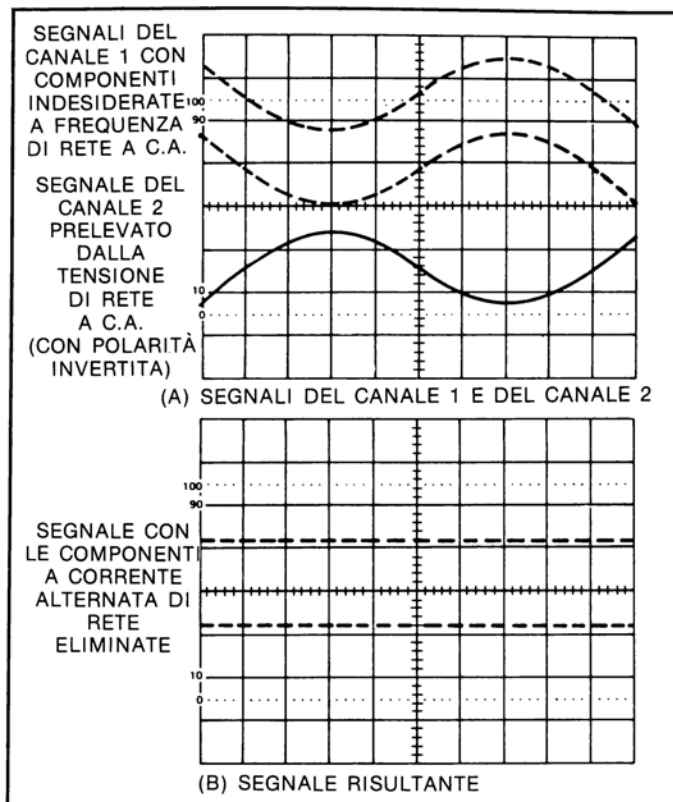



Figura 41

Reiezione in modo comune; essa può venire utilizzata per l'eliminazione di una componente a frequenza indesiderata dalla traccia relativa ad una forma d'onda in esame.

6) Misura di intervalli di tempo

Per misurare il tempo che può intercorrere tra due punti di una forma d'onda si procede come segue:

a) Predisporre i comandi dello strumento in modo da ottenere una traccia lineare di base sullo schermo.

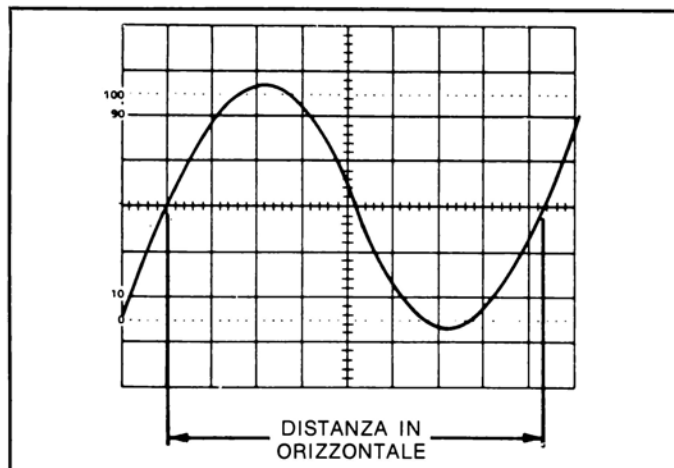



Figura 42

Misura di un intervallo di tempo (od un periodo come appunto in figura).

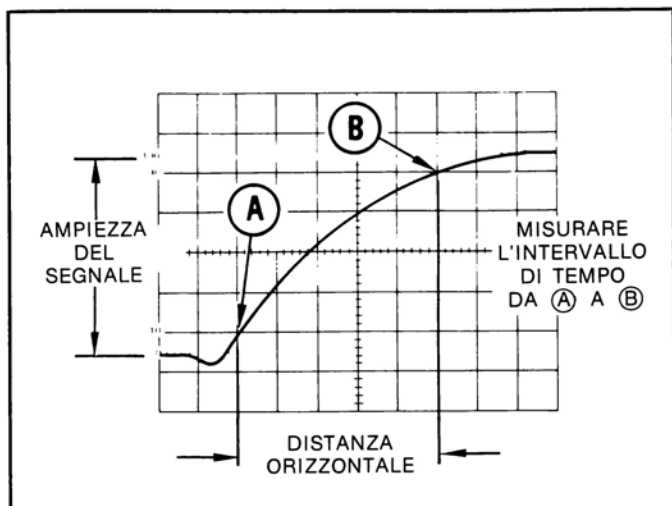



Figura 43

Misura di un tempo di salita con l'impiego delle linee orizzontali presenti nel reticolo per il rilievo del 10% e del 90% di un fronte di salita o discesa.

b) Applicare il segnale all'ingresso di uno dei canali verticali e predisporre i comandi del VERTICAL MODE in modo da fare comparire la traccia relativa al canale impegnato.
c) Regolare il comando LEVEL della sezione di trigger (relativo all'asse-tempi A per il modello TEK 2215) in modo da ottenere una traccia stabile.
d) Misurare in orizzontale la distanza in divisioni che intercorre tra i due punti relativi alla misura.
e) Calcolare l'intervallo di tempo con la seguente formula:

$$\text{Intervallo di tempo} = \frac{\text{distanza in orizzontale (in divisioni)} \times \text{valore di scala di SEC/DIV}}{\text{fattore di magnificazione}}$$

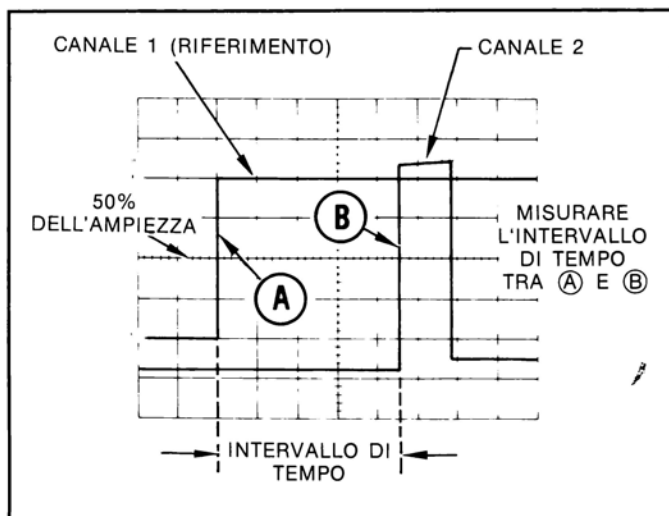



Figura 44

Misura dell'intervallo di tempo fra due impulsi correlati nel tempo.

ESEMPIO: Come si può ricavare dalla figura 42 sia la distanza fra i punti sia 8,3 divisioni e pari a 2 ms sia il valore di scala di SEC/DIV; la magnificazione a pulsante premuto sia 1X.
Sostituendo questi valori si ha:

Intervallo di tempo = 8,3 div. X 2 ms/div = 16,6 ms.

7) Misura di una frequenza

La frequenza di un segnale ripetitivo può venire ricavata dalla misura del suo periodo così come segue:
Calcolare il reciproco del periodo per determinare la frequenza della forma d'onda.

ESEMPIO: Il segnale di figura 42 presenta un periodo di 16,6 ms.
Calcolando il reciproco del periodo:

$$\text{Frequenza} = \frac{1}{\text{periodo}} = \frac{1}{16{,}6\ \text{ms}} = 60\ \text{Hz.}$$

8) Misura di un tempo di salita

Per la misura dei tempi di salita si segue la stessa procedura della misura di intervalli di tempo, tranne che i punti di misura vanno scelti in corrispondenza del 10% e del 90% del fronte di salita della forma d'onda (si veda a figura 43). Il tempo di discesa viene invece misurato tra il 90% ed il 10% del fronte di discesa della forma d'onda.

a) Predisporre i comandi dello strumento in modo da ottenere una traccia lineare di base sullo schermo.
b) Applicare all'ingresso di uno dei due canali un segnale tale da provocare una deflessione esattamente di 5 divisioni per la traccia relativa al canale impegnato.
   Assicurarsi che il comando CAL alla sommità di VOLT/DIV sia sulla sua posizione di arresto meccanico di fine corsa.
   N.B. Per tempi di salita superiori a 0,2 μ sec. si potrà impiegare il comando di sensibilità variabile con continuità per ottenere la deflessione richiesta esattamente di 5 divisioni.
c) Commutare il comando di SLOPE (quello del trigger dell'asse tempi A nel caso del mod. TEK 2215), sulla transizione positiva (più). Fare uso, se possibile, dei passi a disposizione del comando di scansione per ottenere una traccia che comprenda alcuni cicli completi o eventi.
d) Regolare in verticale la posizione della traccia in modo che la base della forma d'onda vada a coincidere con la linea 0% del reticolo e la parte superiore con la linea del 100% (si veda la figura 43).
e) Si commuti il comando SEC/DIV (A SEC/DIV per il modello TEK 2215), così da fare comparire sullo schermo una sola forma d'onda in modo che il fronte di salita si espanda orizzontalmente sul reticolo per quanto è possibile.
f) Disporre orizzontalmente la traccia in modo che il punto al 10% della forma d'onda intersechi la seconda linea verticale del reticolo (si veda la figura 43 al punto A).

g) Misurare la distanza in orizzontale in divisioni tra i punti corrispondenti al 10% ed al 90% e calcolare l'intervallo di tempo con la seguente formula:

$$\text{Tempo di salita} = \frac{\begin{matrix}\text{distanza} \\ \text{in orizzontale} \\ \text{in divisioni}\end{matrix} \times \begin{matrix}\text{valore} \\ \text{di scala} \\ \text{di SEC/DIV}\end{matrix}}{\text{fattore di magnificazione}}$$

ESEMPIO: Dalla figura 43 si può ricavare una distanza in orizzontale tra i punti relativi al 10% ed al 90% di 5 divisioni, con un valore di scala di SEC/DIV di 1 μ sec. e con il pulsante di magnificazione premuto (magnificazione 1X). Sostituendo questi valori nella formula si avrà:

$$\text{Tempo di salita} = \frac{5 \text{ div.} \times 1 \ \mu \text{ sec/div}}{1} = 5 \ \mu \text{ sec.}$$

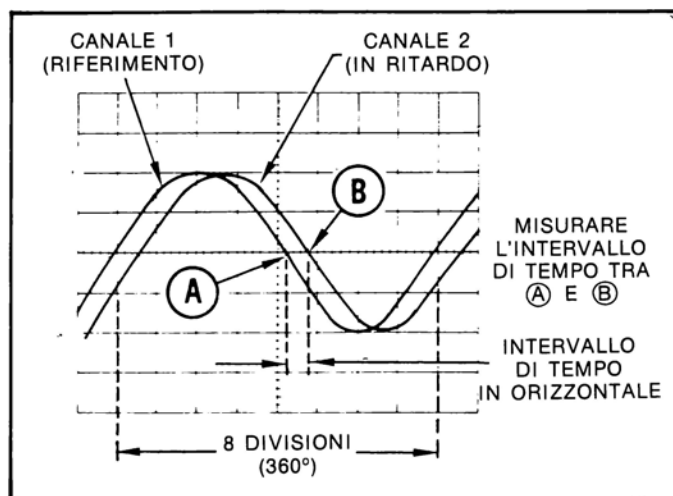
Figura 45

Misura di uno sfasamento senza magnificazione orizzontale.

9) Misura dell'intervallo di tempo fra due impulsi correlati nel tempo

La scansione con passi calibrati e l'impiego di due tracce contemporanee consentono la misura degli intervalli di tempo che possono intercorrere fra due distinti eventi.

Per misurare gli intervalli di tempo occorre seguire la seguente procedura:

a) Predisporre i comandi dello strumento in modo da ottenere una traccia lineare di base.
b) Disporre il comando SOURCE (quello del trigger dell'asse-tempi A per il modello TEK 2215), su CH1.
c) Disporre entrambi i comandi AC-GND-DC sulla stessa posizione tenendo conto della posizione da preferire per il tipo di segnali in ingresso ai canali.
d) Impiegando sonde o cavi con egual tempo di ritardo, applicare un segnale di riferimento all'ingresso del canale 1 ed il segnale da comparare all'ingresso del canale 2.
e) Regolare entrambi i comandi VOLT/DIV in modo che provochino delle tracce di 4 o 5 divisioni di ampiezza.
f) A seconda della frequenza di ripetizione dei segnali in ingresso commutare il comando VERTICAL MODE su ALT o CHOP.
g) Se i due segnali sono di polarità opposta premere il pulsante INVERT del canale 2 (i segnali dovranno essere in questo caso in opposizione di fase o sfasati fra loro di 180°; di ciò occorrerà prendere nota per tenerne conto più avanti nei conteggi finali).
h) Regolare il comando di LEVEL (quello della sezione di trigger dell'asse-tempi A per il modello TEK 2215), in modo da avere una traccia stabile.
i) Disporre il comando SEC/DIV (A SEC/DIV nel caso del modello TEK 2215), su di un passo di lavoro che provochi tre o più divisioni di separazione in orizzontale tra i punti di riferimento delle due tracce. Centrare verticalmente una delle tracce (si veda la figura 44).
l) Misurare in orizzontale la distanza, in divisioni, fra i punti di riferimento delle due tracce e calcolare l'intervallo di tempo fra i due punti secondo la seguente formula:

$$\text{Intervallo di tempo} = \frac{\begin{matrix}\text{passo di lavoro} \\ \text{del commutatore} \\ \text{SEC/DIV}\end{matrix} \times \begin{matrix}\text{distanza} \\ \text{orizzontale} \\ \text{(in divisioni)}\end{matrix}}{\text{fattore di magnificazione}}$$

ESEMPIO: Il comando di scansione risulti commutato su 50 μ sec., il comando di magnificazione sia estratto in fuori e la differenza in orizzontale fra i punti delle due forme d'onda sia di 4,5 divisioni come risulta in figura 44. Sostituendo questi valori nella formula si avrà:

$$\text{Intervallo di tempo} = \frac{50 \ \mu \text{ sec./div.} \times 4{,}5 \text{ div.}}{10} = 22{,}5 \ \mu \text{ sec.}$$

10) Misura di differenze di fase

Una comparazione di fase fra due segnali di eguale frequenza può venire condotta con l'impiego della doppia traccia. Questo metodo di misura di differenza di fase può venire utilizzato sino alla frequenza corrispondente al limite superiore della banda di lavoro della sezione verticale dell'oscilloscopio. Per realizzare una comparazione di fase si segue la seguente procedura:

a) Regolare i comandi dell'oscilloscopio in modo da ottenere una traccia lineare di base e poi commutare il comando SOURCE (quello relativo all'asse-tempi A nel caso del modello TEK 2215), su CH1.
b) Disporre entrambi i comandi AC-GND-DC sulla stessa posizione tenendo conto della posizione da preferire per il tipo di segnali in ingresso ai canali.
c) Impiegando sonde o cavi con eguale tempo di ritardo, applicare un segnale conosciuto di riferimento all'ingresso del canale 1 ed il segnale incognito all'ingresso del canale 2.

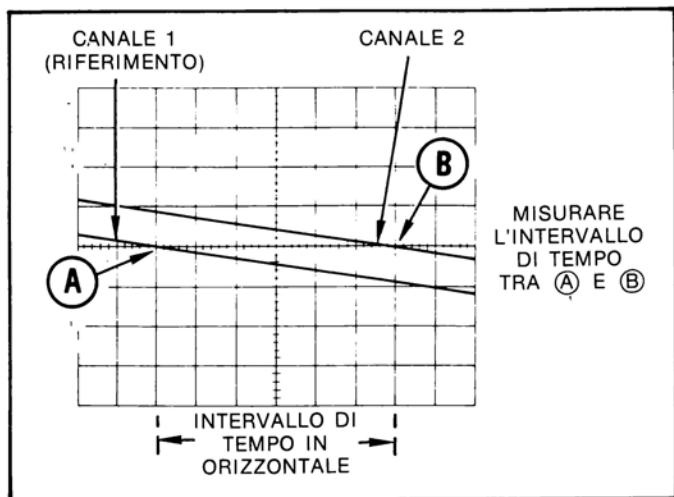



Figura 46

Misura di uno sfasamento impiegando la magnificazione orizzontale 10 X.

d) Commutare i comandi del VERTICAL MODE su BOTH e su ALT o CHOP a seconda delle frequenze in ingresso ai canali. Il segnale di riferimento deve precedere, come tempi, quello da comparare.
e) Se i due segnali sono di polarità opposta premere il pulsante INVERT del canale 2 per invertire appunto la polarità della traccia.
f) Regolare sia i due commutatori VOLT/DIV che i due comandi CAL, di regolazione fine, in modo che le tracce risultino eguali fra loro come ampiezza.
g) Regolare il comando LEVEL (quello di trigger dell'asse - tempi A per il modello TEK 2215), in modo da ottenere una traccia stabile.
h) Regolare il comando SEC/DIV (A SEC/DIV per il modello TEK 2215), su di una velocità di scansione che consenta la visione di almeno un ciclo completo della forma d'onda.
i) Come indicato in figura 45 regolare il comando POSITION della sezione orizzontale e ritoccare il comando di regolazione fine della velocità di scansione in modo che un ciclo completo del segnale di riferimento occupi esattamente 8 divisioni orizzontali. Ogni divisione del reticolo rappresenta così 45° del ciclo del segnale (8 divisioni equivalgono a 360°); la calibrazione del reticolo in orizzontale viene così stabilita in 45° per divisione.
l) Misurare in orizzontale la distanza, in divisioni, tra due intersezioni corrispondenti delle forme d'onda con la linea orizzontale di centro del reticolo (la linea corrispondente al 50% dei tempi di salita), e calcolare la differenza di fase secondo la seguente formula:

$$\text{Differenza di fase} = \text{distanza in orizzontale (in divisioni)} \times \text{calibrazione in orizzontale del reticolo in gradi/divisione}$$

ESEMPIO: Sia la distanza in orizzontale di 0,6 divisioni, con una calibrazione in orizzontale del reticolo di 45°/divisione come indicato in figura 45.

Sostituendo questi valori nella formula relativa alla differenza di fase si ottiene:

differenza di fase = 0,6 div. X 45°/div. = 27 gradi

ESEMPIO: Se la velocità di scansione venisse aumentata di 10 volte con l'inserzione della magnificazione (con il comando di magnificazione 10 X estratto in fuori), la calibrazione in orizzontale del reticolo diverrebbe di 45°/divisione diviso 10 e cioè di 4,5°/divisione. La figura 46 mostra gli stessi segnali riportati in figura 45, ma le tracce espanse, a causa della magnificazione, danno luogo ad una distanza in orizzontale tra le intersezioni delle tracce con la linea centrale del reticolo di 6 divisioni.
Sostituendo questi valori nella formula relativa alla differenza di fase si ottiene:

differenza di fase = 6 div. X 4,5°/div. = 27 gradi

11) Misura di ampiezza per comparazione

Per certe applicazioni può risultare necessario operare con fattori di deflessione diversi da quelli riportati sulla scala dei commutatori VOLT/DIV.

Ciò può servire a confrontare fra loro dei segnali incogniti con un segnale di riferimento di ampiezza nota.

Per procedere in questo modo per prima cosa un segnale di riferimento di ampiezza nota viene fatto corrispondere, agendo sulla regolazione fine di ampiezza, esattamente con un numero ben definito di divisioni.

A questo punto i segnali di ampiezza incognita possono venire paragonati con tutta facilità e precisione con il segnale di riferimento senza ritoccare la posizione del comando di regolazione fine di ampiezza.

La procedura da seguire è la seguente:

a) Predisporre i comandi dello strumento in modo da ottenere una traccia lineare di base.
b) Applicare il segnale di riferimento ad uno dei canali e disporre i comandi del VERTICAL MODE in modo da visualizzare la traccia.
c) Regolare il comando di VOLT/DIV del canale prescelto e la relativa regolazione fine di ampiezza in modo da impegnare esattamente un numero intero di divisioni verticali.
d) Stabilire, con l'aiuto della seguente formula, un fattore di conversione verticale. (Il segnale di riferimento dovrà essere di ampiezza nota).

$$\text{Fattore di conversione verticale} = \frac{\text{ampiezza nota del segnale di riferimento (in Volts)}}{\text{deflessione verticale (in divisioni)} \times \text{valore di scala di VOLT/DIV}}$$

e) Disconnettere il segnale di riferimento dall'ingresso del canale ed applicare invece il segnale incognito da misurare come ampiezza, allo stesso ingresso del canale.
Regolare il commutatore. VOLT/DIV su di un passo che consenta una deflessione verticale abbastanza estesa da

permettere una misura precisa. Non ritoccare il comando di regolazione fine di ampiezza.

f) Stabilire un fattore di deflessione arbitrario impiegando la seguente formula:

$$\text{Fattore arbitrario di deflessione} = \text{fattore di conversione verticale} \times \text{valore di scala di VOLT/DIV}$$

g) Misurare in divisioni la deflessione verticale provocata dal segnale incognito e ricavarne la relativa ampiezza con la seguente formula:

$$\text{Ampiezza del segnale incognito} = \text{fattore arbitrario di deflessione} \times \text{deflessione verticale (in divisioni)}$$

ESEMPIO: L'ampiezza del segnale di riferimento sia di 30 V con un valore di scala del commutatore VOLT/DIV di 5 ed il comando di regolazione fine regolato in modo da ottenere 4 divisioni esatte di deflessione.

Sostituendo questi valori nella formula del fattore di conversione verticale si otterrà:

$$\text{Fattore di conversione verticale} = \frac{30\ \text{V}}{4\ \text{div.} \times 5\ \text{V/div.}} = 1{,}5$$

Sia ora 1 V il valore di scala di VOLT/DIV per il segnale incognito con 5 divisioni di ampiezza picco-picco. Il fattore di deflessione arbitrario, sostituendo questi valori nella formula relativa, sarà:

$$\text{Fattore arbitrario di deflessione} = 1{,}5 \times 1\text{V/div.} = 1{,}5\ \text{V/div.}$$

L'ampiezza del segnale incognito verrà ora determinata sostituendo i valori nella formula relativa:

Ampiezza = 1,5 V/div X 5 div. = 7,5 V

12) Misura di tempo per comparazione

Analogamente a quanto si è sin qui visto per le «misure di ampiezza per paragone», con altrettanta facilità e precisione si possono eseguire delle misure di tempo per comparazione di segnali incogniti con segnali di riferimento (ad esempio in linee di produzione di fabbrica).

Per ottenere ciò occorrerà disporre di un segnale di riferimento e rapportarlo in orizzontale ad un numero esatto di divisioni; si agirà allo scopo sul commutatore SEC/DIV (A SEC/DIV per il modello TEK 2215), e sul comando di regolazione fine del tempo di scansione. In questo modo, senza ritoccare più questo comando, sarà possibile misurare dei segnali incogniti per comparazione con quello di riferimento. La procedura da seguire è la seguente:

a) Far corrispondere la durata di un segnale di riferimento ad un numero esatto di divisioni orizzontali regolando il comando SEC/DIV (A SEC/DIV per il modello TEK 2215), ed il relativo comando di regolazione fine.

b) Stabilire un fattore di conversione orizzontale con la seguente formula (la durata del segnale di riferimento dovrà risultare nota):

$$\text{Fattore di conversione orizzontale} = \frac{\text{durata del segnale di riferimento (in sec.)}}{\text{distanza orizzontale} \times \text{valore di scala di SEC/DIV}}$$

c) Regolare la posizione del commutatore SEC/DIV (o A SEC/DIV), fino ad un valore di scala che permetta una deflessione orizzontale sufficientemente ampia da consentire una misura di buona precisione. Non ritoccare la posizione del comando di regolazione fine della velocità di scansione.

d) Stabilire un valore di deflessione di valore arbitrario con la seguente formula:

$$\text{Fattore arbitrario di deflessione} = \text{fattore di conversione orizzontale} \times \text{valore di scala di SEC/DIV}$$

e) Misurare la distanza orizzontale fra i punti di riferimento del segnale incognito e calcolare l'intervallo di tempo relativo con la seguente formula:

$$\text{Intervallo di tempo (o periodo)} = \text{fattore arbitrario di deflessione} \times \text{distanza in orizzontale (in divisioni)}$$

f) La frequenza del segnale incognito potrà venire determinato calcolando il reciproco di questo intervallo di tempo o periodo.
ESEMPIO: Sia il 2,19 ms la durata del segnale di riferimento, 0,2 ms il valore di scala di SEC/DIV ed il comando di regolazione fine del tempo di scansione sia ritoccato in modo da consentire una distanza in orizzontale di 8 divisioni.

Sostituendo questi valori nella formula del fattore di conversione orizzontale si ottiene:

$$\text{fattore di conversione orizzontale} = \frac{2{,}19\ \text{ms}}{8\ \text{div.} \times 0{,}2,\ \text{ms/div}} = 1{,}37\ \text{ms}$$

Proseguendo, posto che sia 50 μ sec. il valore di scala di SEC/DIV per il segnale incognito, con 7 divisioni corrispondenti ad un ciclo completo, il fattore di conversione arbitrario sarà allora determinato sostituendo questi valori nella formula relativa:

$$\text{Fattore arbitrario di deflessione} = 1{,}37 \times 50\ \mu\text{s/div} = 68{,}5\ \mu\text{s/div.}$$

l'intervallo di tempo o periodo del segnale incognito potrà venire ricavato sostituendo i valori nella formula relativa:

$$\text{Intervallo di tempo o periodo} = 68{,}5\ \mu\text{sec/div} \times 7\ \text{div.} = 480\ \mu\text{sec.}$$

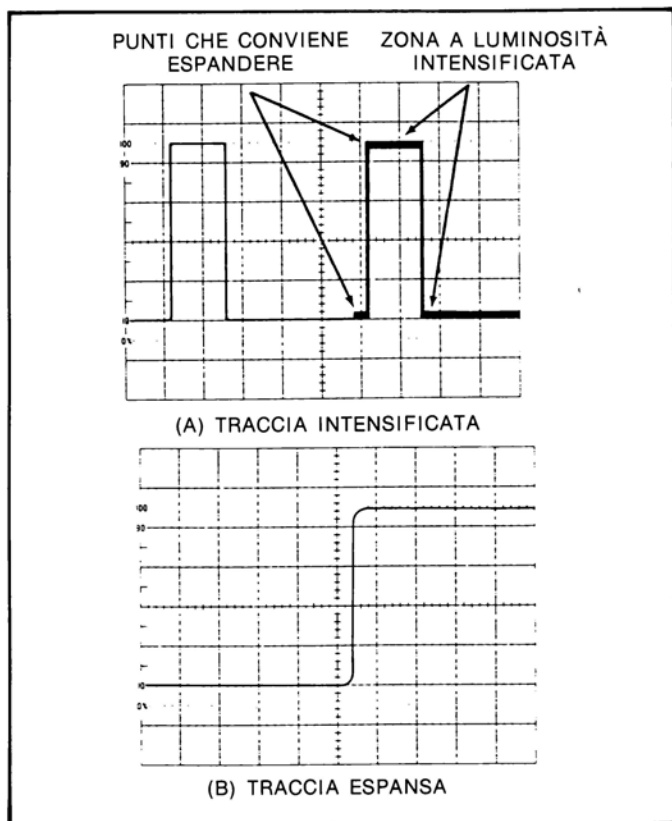



Figura 47

Analisi di una forma d'onda espansa con un'asse-tempi ritardato.

La frequenza del segnale incognito sarà così calcolata:

$$\text{Frequenza} = \frac{1}{480\ \mu\ \text{sec.}} = 2{,}083\ \text{KHz.}$$

ESPANSIONE DI TRACCIA CON L'IMPIEGO DI UN SOLO ASSE-TEMPI RITARDATO

Procedure da prevedere con l'oscilloscopio modello TEK 2213.

L'impiego della scansione ritardata così come è previsto nel modello TEK 2213 permette di ottenere una magnificazione apparente ben più ampia di quella che può introdurre il comando di magnificazione X10. Questa magnificazione apparente si verifica quando si visualizza una ben determinata porzione della traccia (INTENS HORIZONTAL MODE), con una velocità di scansione più elevata (DLY'D HORIZONTAL MODE).

Quando si opera con l'INTENS HORIZONTAL MODE la zona a luminosità intensificata presente sulla traccia indica, sia la posizione, che l'inizio della scansione che può venire visualizzata con il DLY'D HORIZONTAL MODE. La posizione della zona a luminosità intensificata ed il suo inizio (vale a dire la definizione del tempo di ritardo tra l'inizio della scansione e l'inizio della zona a luminosità intensificata), viene regolata a mezzo dei comandi MULTIPLIER e del commutatore DELAY TIME che permette di scegliere il campo di regolazione caso per caso più adatto. In tal modo, anche per le più alte velocità di scansione, il tempo di ritardo può venire regolato in modo che la zona a luminosità intensificata possa iniziare in qualsiasi punto, dall'inizio alla fine, della forma d'onda in esame.

Sia che il comando HORIZONTAL MODE sia commutato su INTENS O DLY'D, il commutatore DELAY TIME ed il potenziometro MULTIPLIER permettono di collocare a piacere l'inizio della zona a luminosità intensificata lungo tutta la forma d'onda.

Il DELAY TIME consente infatti di collocare l'inizio di questa zona vicino al particolare che interessa, mentre il MULTIPLIER permette una regolazione fine e continua fino alla collimazione dei dettagli che si desidera visualizzare con l'espansione della scansione.

Nel caso che si esamini una traccia relativa ad un segnale periodico (come capita nel caso di forme d'onda piuttosto complesse di tipo digitale), quando si commuta l'HORIZONTAL MODE su DLY'D può capitare che l'inizio della scansione non collimi con l'inizio della zona intensificata. In tal caso diviene necessario collegare un segnale di riferimento (ricavato dal sistema in esame), al connettore EXT IMPUT relativo ai segnali di trigger provenienti dall'esterno in modo da assicurare la corretta visualizzazione del particolare prescelto nell'andamento della forma d'onda in esame.

La magnificazione introdotta dalla scansione ritardata può dare luogo ad una traccia che può presentarsi con alcuni piccoli scarti di movimento in senso orizzontale (impulsi di jitter). Questo jitter (o instabilità di traccia), di tipo impulsivo è dovuto non solo alla tipica incertezza che può verificarsi nel fare partire ogni volta la scansione ritardata sempre esattamente con lo stesso punto di trigger, ma pure al fatto che il jitter può essere presente nel segnale di ingresso. Se si deve misurare questo jitter impulsivo si segua la procedura "Misura del tempo di jitter" che segue la trattazione della "Scansione espansa".

1) Scansione espansa

La seguente procedura spiega come si deve procedere per ottenere le prestazioni tipiche della scansione ritardata e per determinare il fattore di magnificazione apparente.

a) Predisporre i comandi dello strumento in modo da ottenere una traccia lineare di base.
b) Applicare il segnale all'ingresso di uno dei canali e disporre i comandi del VERTICAL MODE in modo da visualizzare la traccia relativa al canale impiegato.
c) Regolare il comando VOLT/DIV del canale in modo da ottenere una traccia di circa 5 divisioni di ampiezza e centrare la traccia stessa sullo schermo.
d) Regolare il comando SEC/DIV su di una velocità di scansione che consenta di visualizzare al minimo un ciclo completo della forma d'onda sullo schermo.
e) Porre la levetta di HORIZONTAL MODE su INTENS e scegliere il tempo di ritardo più opportuno con il commutatore DELAY TIME. Regolare il comando MULTIPLIER in modo da fare coincidere l'inizio della zona a luminosità intensificata della traccia con il particolare da espandere (si veda la figura 47).
f) Porre la levetta di HORIZONTAL MODE su DLY'D ed aumentare la velocità di scansione in modo da espandere il particolare della forma d'onda relativo all'inizio della zona a luminosità intensificata.

g) La magnificazione apparente realizzata grazie alla scansione ritardata può venire ricavata dalla seguente formula:

$$\text{Magnificazione apparente} = \frac{1 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-6}} = 10^2 = 100$$

2) Misura del jitter (instabilità orizzontale)

Per misurare il tempo di incertezza (o jitter), nell'inizio della traccia relativa ad un impulso (si veda la figura 48), conviene seguire la seguente procedura:

a) Eseguire quanto previsto nei passi da a) a g) della procedura relativa alla «scansione espansa».
b) Con riferimento alla figura 48, misurare la distanza in divisioni tra i punti A e B e calcolare il tempo di incertezza dovuto al jitter con la seguente formula:

$$\text{Tempo di jitter} = \text{distanza in orizzontale (in divisioni)} \times \text{valore di scala di SEC/DIV}$$

ESPANSIONE DI TRACCIA CON L'IMPIEGO DI UN DOPPIO ASSE-TEMPI

Procedure da prevedere con l'oscilloscopio modello TEK 2215.

L'impiego della scansione ritardata cosi come è previsto nel modello 2215 permette di ottenere una magnificazione apparente molto più ampia di quella che può introdurre il comando di magnificazione X 10. Questa magnificazione apparente si verifica quando si visualizza una ben determinata porzione della traccia con una velocità di scansione più elevata (realizzata appunto tramite l'asse - tempi B).

Il valore di scala del comando A SEC/DIV determina invece quante volte al secondo viene fatto intervenire l'asse B. Dato che l'asse-tempi B può entrare in funzione solo una volta, dopo ogni scansione dell'asse-tempi A, la durata di scansione dell'asse-tempi A stabilisce in pratica l'intervallo di tempo che intercorre tra una scansione e la successiva dell'asse-tempi B.

La porzione di traccia a luminosità intensificata che compare nella traccia scandita dall'asse-tempi A fornisce un'indicazione sia della posizione da cui parte la scansione dell'asse-tempi B, sia della durata stessa di questa seconda scansione ritardata nel tempo, rispetto alla durata complessiva della scansione dell'asse - tempi A.

La posizione della porzione di traccia a luminosità intensificata (vale a dire la determinazione del tempo di ritardo tra la partenza del primo asse - tempi A e quella del secondo asse-tempi B), viene regolata con il comando B DELAY TIME POSITION.

Sia che il comando HORIZONTAL MODE venga commutato su ALT o su B, il comando B DELAY TIME POSITION continua a determinare il punto della traccia che provoca la partenza dell'asse-tempi B. Il campo di azione di questo comando è sufficientemente ampio per collocare la scansione dell'asse-tempi B in qualsiasi punto del tempo scandito dalla asse-tempi A.

Quando l'HORIZONTAL MODE viene posto su ALT il valore di scala del passo su cui viene commutato il comando B SEC/DIV determina la velocità di scansione di B e, per conseguenza, la lunghezza della zona a luminosità intensificata che compare sulla traccia scandita dall'asse - tempi A.

La magnificazione introdotta dalla scansione ritardata può dare luogo ad una traccia che può presentare alcuni piccoli scarti di movimento in senso orizzontale (impulsi di jitter).

Questo jitter (o instabilità di traccia), di tipo impulsivo è dovuto non solo alla tipica incertezza che può verificarsi nel fare partire, ogni volta sempre esattàmente con lo stesso punto di trigger, la scansione ritardata, ma pure al fatto che l'instabilità da jitter può essere presente nel segnale di ingresso.

Qualora si debba misurare questo jitter impulsivo si segua la pròcedura "Misura del tempo di jitter" che segue la trattazione della "scansione espansa subito dopo il ritardo".

1) Scansione espansa subito dopo il ritardo.

La seguente procedura spiega come si deve operare impiegando la scansione dell'asse-tempi B senza l'intervento di trigger e come si determina il fattore di magnificazione apparente che ne risulta.

a) Predisporre i comandi dello strumento in modo da ottenere una traccia lineare di base.
b) Applicare il segnale al connettore di ingresso di uno dei canali e commutare i comandi del VERTICAL MODE in modo da visualizzare la traccia.
c) Commutare il comando di sensibilità VOLT/DIV su di un passo che dia luogo ad una traccia di 2 o 3 divisioni di ampiezza all'incirca e centrare la traccia sullo schermo.
d) Regolare il comando A SEC/DIV su di una velocità di scansione che permetta di visualizzare al minimo un ciclo completo della forma d'onda.
e) Disporre il comando HORIZONTAL MODE su ALT. Regolare i comandi di POSITION verticale ed orizzontale, nonchè quello di A/B SWP SEP, in modo da disporre la traccia scandita dall'asse/tempi A sopra a quella relativa all'asse/tempi B cosi come indicato in figura 49.

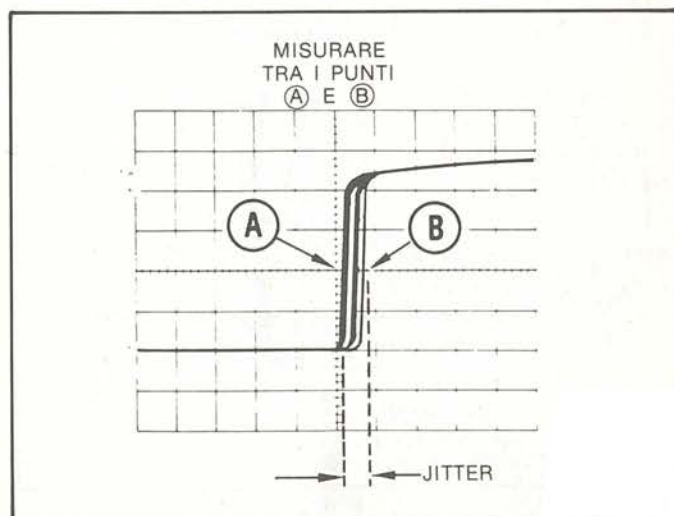



Figura 48
Misura di un jitter (instabilità orizzontale).

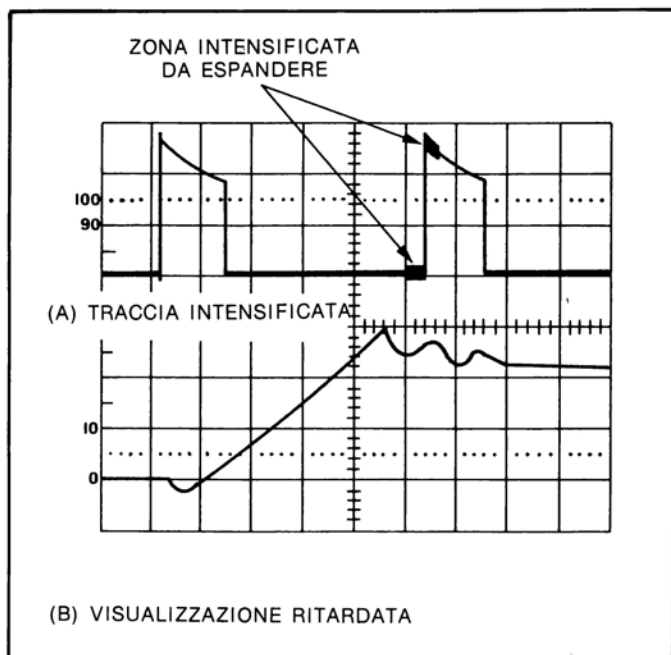



Figura 49

Analisi contemporanea di una forma d'onda con l'intensificazione luminosa di un particolare e la sua espansione con un asse - tempi ritardato.

f) Regolare il comando B DELAY TIME POSITION in modo da fare coincidere l'inizio della zona intensificata con il particolare della curva che si desidera espandere (vedi figura 49).

g) Regolare il comando B SEC/DIV fino ad un valore di scala che riduca il tratto di traccia a luminosità intensificata in modo che esso copra solamente e completamente il particolare da espandere prescelto sulla forma d'onda scandita dall'asse - tempi A. Questo tratto intensificato risulterà espanso nella traccia scandita dall'asse - tempi A.

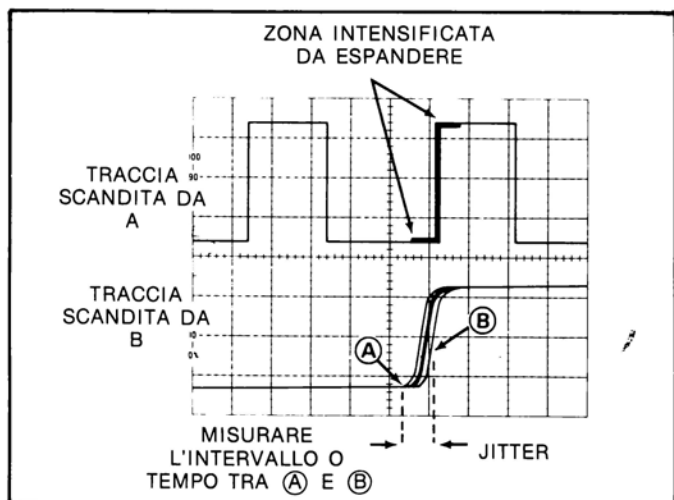



Figura 50

Espansione, con un asse-tempi ritardato, di un dettaglio di una forma d'onda e per la misura del jitter relativo.

h) La magnificazione apprente ottenuta con questa scansione può venire calcolata con la seguente formula:

$$\text{Magnificazione apparente} = \frac{\text{valore di scala del comando A SEC/DIV}}{\text{valore di scala del comando B SEC/DIV}}$$

ESEMPIO: Determinare la magnificazione apparente di una traccia con un valore di scala per l'asse-tempi A di 0,1 ms. ed un valore di scala per l'asse-tempi B di 1 μs.

Sostituendo questi valori nella formula si ottiene:

$$\text{Magnificazione apparente} = \frac{1 \times 10^{-4} \text{ sec}}{1 \times 10^{-6} \text{ sec.}} = 10^2 = 100$$

2) Misura del jitter (instabilità orizzontale)

Per misurare il tempo di incertezza (jitter), nell'inizio della traccia relativa ad un impulso (si veda la figura 50), conviene eseguire la seguente procedura:

a) Eseguire quanto previsto nei passi da a) a g) nella procedura relativa alla "Scansione espansa subito dopo il ritardo".

b) Con riferimento alla figura 50, misurare la distanza in divisioni tra i punti A e B e calcolare il tempo di incertezza dovuto al jitter con la seguente formula:

$$\text{Tempo di jitter} = \text{distanza in orizzontale (in divisioni)} \times \text{valore di scala di B SEC/DIV}$$

3) Scansione espansa sincronizzata

La seguente procedura indica come si deve impiegare la scansione dell'asse-tempi B sincronizzandola con il comando di trigger e come si deve procedere per ricavare il valore della magnificazione apparente che ne risulta.

Quando si impiega l'asse-tempi B sincronizzandolo con il relativo comando LEVEL di trigger si ottiene una traccia più stabile perchè la scansione ritardata parte ogni volta con lo stesso punto di trigger.

a) Eseguire quanto previsto nei passi da a) a g) nella precedente procedura.

N.B. La zona a luminosità intensificata presente nella traccia relativa alla scansione dell'asse-tempi A (con il comando HORIZONTAL MODE su ALT), potrà muoversi lungo la traccia stessa da un punto all'altro di trigger durante la rotazione del comando B DELAY TIME POSITION.

b) Regolare il comando LEVEL del trigger dell'asse-tempi B in modo che il tratto a luminosità intensificata sulla traccia scandita dall'asse - tempi A risulti stabile.

c) Il fattore di magnificazione apparente potrà venire ricavato dalla formula che compare nel passo h) della procedura relativa alla "Scansione espansa subito dopo il ritardo".

MISURE DI TEMPO CON SCANSIONE RITARDATA

Procedure da prevedere con l'oscilloscopio modello TEK 2215.

Le prestazioni dell'oscilloscopio TEK 2215 operando con l'HORIZONTAL MODE commutato su ALT o B permettono di eseguire misure di tempo con un notevole grado di precisione rispetto a quello che si può ottenere con il commutatore posto su A. Nelle procedure che seguono indichiamo come devono venire eseguite queste misure.

1) Misura di intervalli di tempo tra impulsi ripetitivi

a) Predisporre i comandi dello strumento in modo da ottenere una traccia lineare di base.
b) Applicare il segnale al connettore di ingresso di uno dei canali verticali e predisporre i comandi del VERTICAL MODE in modo da visualizzare la traccia.
c) Commutare il comando VOLT/DIV del canale su di un passo che consenta una traccia di 2 o 3 divisioni all'incirca in ampiezza.
d) Regolare il comando A SEC/DIV in modo che il reticolo comprenda i punti che interessano sulla traccia così visualizzata.
e) Commutare il comando HORIZONTAL MODE su ALT e regolare il comando di POSITION verticale oltre al comando A/B SWP SEP in modo da disporre la traccia scandita dall'asse/tempi B sotto a quella scandita da A (si veda la figura 51).
f) Per ottenere il massimo di precisione nella misura commutare il comando B SEC/DIV sulla massima velocità di scansione capace di consentire ancora una traccia espansa di buona visibilità.
g) Regolare il comando B DELAY TIME POSITION sino a coprire, con il tratto a luminosità intensificata, il fronte di salita del primo impulso; ritoccare poi con delicatezza il comando fino a che il fronte di salita (nella traccia scandita con l'asse-tempi B), venga a collimare con una linea verticale del reticolo (si veda in figura 51).
h) Annotare la lettura relativa alla posizione di scala del comando B DELAY TIME POSITION.
i) Ruotare in senso orario la manopola del comando B DELAY TIME POSITION in modo da portare il tratto intensificato sulla scansione di A sino a coprire il fronte di salita del secondo impulso; si ritocca poi con delicatezza la posizione della manopola sino a che il fronte di salita che compare nella traccia scandita dall'asse-tempi B venga a collimare con la stessa linea verticale del reticolo prefissata dal passo g).
l) Annotare nuovamente la lettura relativa alla posizione di scala del comando B DELAY TIME POSITION.
m) Calcolare l'intervallo di tempo tra i due impulsi ripetitivi con l'aiuto della seguente formula:

$$\text{Intervallo di tempo} = \text{seconda lettura di scala} - \text{prima lettura di scala} \times \text{valore di scala di A SEC/DIV}$$

ESEMPIO: Poniamo che si abbia una velocità di scansione dell'asse-tempi A di 0,2 ms, e si siano registrate una prima lettura di scala di B DELAY TIME POSITION di 1,20 ed una seconda lettura di scala dello stesso comando di 9,53 (si veda la figura 52).

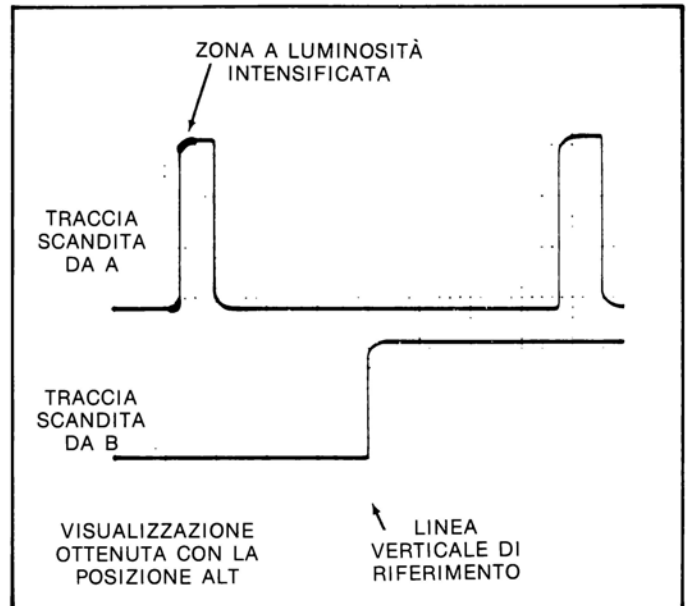



Figura 51
Misura dell'intervallo di tempo tra due impulsi ripetitivi.

Sostituendo questi valori nella formula precedente si otterrà:

$$\text{Intervallo di tempo} = (9{,}53 - 1{,}20) \times (0{,}2 \text{ ms}) = 1{,}666 \text{ ms.}$$

2) Misura di un tempo di salita

Il metodo da seguire per la misura di un tempo di salita è praticamente lo stesso utilizzato per ricavare l'intervallo di tempo fra due impulsi ripetitivi.

Le misure vanno però eseguite tra il 10% ed il 90% del fronte di salita se si tratta di un tempo di salita e tra il 90% ed il 10% se si misura un tempo di discesa. La procedura da seguire è la seguente:

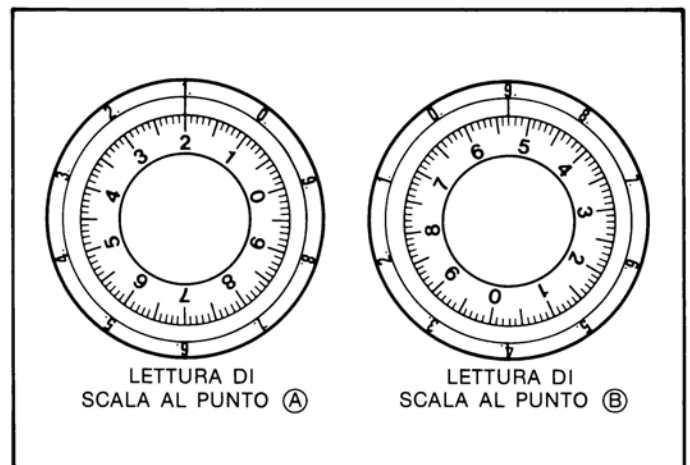



Figura 52
Esempio di letture di scala che può presentare il comando B DELAY TIME POSITION per la misura dell'intervallo di tempo fra due impulsi ripetitivi.

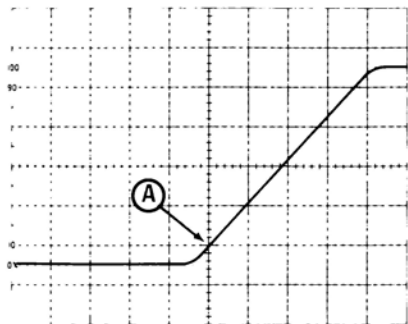
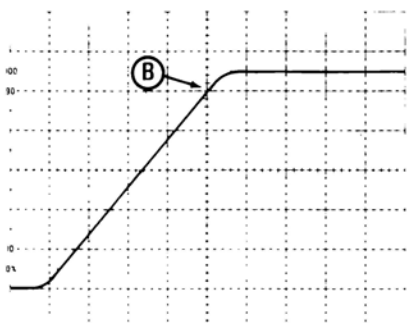



Figura 53

Misura di un tempo di salita.

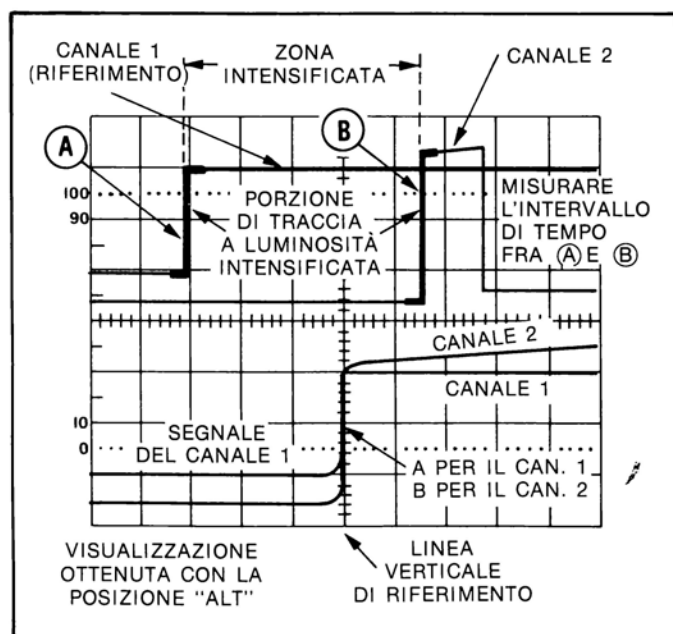



Figura 54

Misura, con metodo differenziale, dell'intervallo di tempo fra due impulsi correlati nel tempo.

a) Predisporre i comandi dello strumento in modo da ottenere una traccia lineare di base.
b) Applicare al connettore di ingresso di uno dei canali verticali un segnale che dia luogo ad una traccia con 5 divisioni di ampiezza; disporre i comandi del VERTICAL MODE in modo da visualizzare la traccia relativa al canale.
Assicurarsi che il comando di regolazione fine della sensibilità del canale verticale impiegato sia sulla relativa posizione di arresto meccanico di fine corsa.
N.B. Per la misura di tempi di salita inferiori ai 0,2 µs per divisione si potrà utilizzare il comando di regolazione fine della sensibilità di canale per ottenere una traccia esattamente di 5 divisoni di ampiezza.
c) Disporre la traccia in senso verticale in modo che lo zero di riferimento della forma d'onda coincida con la linea di 0% del reticolo e che la parte superiore, il tetto, della forma d'onda, tocchi la linea del 100% (si veda la figura 53).
d) Regolare il comando A SEC/DIV in modo da ottenere una traccia che comprenda un solo ciclo della forma d'onda. Assicurarsi che il comando di regolazione fine del tempo di scansione degli asse-tempi A e B sia bloccato sulla sua posizione di arresto meccanico di fine corsa.
e) Porre la levetta del commutatore HORIZONTAL MODE su ALT. Regolare il comando B DELAY TIME POSITION fino a che la traccia intersechi il punto del 10% sulla linea verticale di centro del reticolo (si veda la figura 53 al punto A).
f) Annotare il valore indicato dalla scala del comando B DELAY TIME POSITION.
g) Regolare il comando B DELAY TIME POSITION fino a che la traccia intersechi il punto del 90% sulla linea verticale di centro del reticolo (si veda la figura 53 al punto B).
h) Annotare nuovamente il valore indicato dalla scala del comando B DELAY TIME POSITION.
i) Calcolare il tempo di salita con l'aiuto della stessa formula utilizzata nel caso della procedura per la "Misura dell'intervallo di tempo fra due impulsi ripetitivi".
ESEMPIO: Poniamo che il comando A SEC/DIV sia posto su I µs, che la prima lettura di B DELAY TIME POSITION dia 2,50 (punto A) e che la seconda lettura (punto B), dia come risultato 7,50. Sostituendo questi valori nella formula si otterrà:

tempo di salita = (7,50 − 2,50) X (1 µs) = 5 µsec.

3) Misura dell'intervallo di tempo fra due impulsi correlati nel tempo

La procedura da seguire è la seguente:
a) Pedisporre i comandi dello strumento in modo da ottenere una traccia lineare di base.
b) Impiegando sonde o cavi con eguale ritardo di tempo applicare un segnale di riferimento all'ingresso del canale 1 ed il segnale da paragonare all'ingresso del canale 2.
c) Regolare entrambi i comandi VOLT/DIV dei canali verticali in modo da ottenere una traccia con 2 o 3 divisioni verticali in ampiezza.
d) Porre i comandi di VERTICAL MODE uno su BOTH e l'altro su ALT o CHOP a seconda della frequenza dei segnali in ingresso.

e) Regolare il comando A SEC/DIV in modo da visualizzare i punti che interessano della forma d'onda entro l'ambito dell'area relativa al reticolo.
f) Porre il comando HORIZONTAL MODE su ALT e quello di VERTICAL MODE su CH1.
Regolare sia il comando POSITION del canale verticale 1 che il comando A/B SWP SEP in modo che la traccia scandita con l'asse-tempi A resti disposta sopra a quella scandita dall'asse-tempi B (si veda la figura 54).
g) Ruotare la manopola del comando B DELAY TIME POSITION in modo da coprire il fronte di salita dell'impulso di riferimento con il tratto di traccia a luminosità intensificata che compare nella forma d'onda scandita con l'asse-tempi A; si ritocchi poi con delicatezza il comando fino a fare coincidere il fronte di salita scandito dall'asse-tempi B con una qualsiasi linea verticale del reticolo (la linea verticale di centro del reticolo nella figura 54 al punto a).
h) Annotare il valore di scala indicato dalla manopola del comando B DELAY TIME POSITION.
i) Porre il comando VERTICAL MODE su CH2 e regolare sia il comando POSITION del canale 2 che il comando A/B SWP SEP in modo da disporre la traccia scandita dall'asse-tempi A al di sopra di quella scandita con l'asse-tempi B.
l) Ruotare la manopola del comando B DELAY TIME POSITION fino a che il fronte di salita dell'impulso in esame, scandito dall'asse-tempi B, non venga a coincidere con la stessa linea verticale del reticolo utilizzata al punto g) (si veda la figura 54 al punto B).
Se la traccia scandita dall'asse-tempi A mette in evidenza più di un impulso, verificare che la zona a luminosità intensificata copra il fronte di salita dell'impulso che si desidera esaminare. Non variare la posizione del comando di POSITION orizzontale.
m) Annotare il valore di scala indicato dalla manopola del comando B DELAY TIME POSITION.
n) Calcolare l'intervallo di tempo fra gli impulsi relativi al canale 1 e 2 come nel precedente esercizio relativo alla "Misura di un intervallo di tempo tra due impulsi ripetitivi".
ESEMPIO: con il comando dell'asse-tempi A posto su 50 μs, la scala del comando di tempo dell'asse-tempi B indichi una lettura di 2,60 per l'impulso di riferimento (Canale 1), e di 7,10 per quello da misurare (canale 2).

Sostituendo questi valori nella formula relativa al calcolo dell'intervallo di tempo si ottiene:

intervallo di tempo = (7,10 − 2,60) X (50 μs) = 225 μs.

INDICE ANALITICO

Si sono riportate in maiuscolo, così come compaiono sul frontale degli oscilloscopi, le diciture, in lingua inglese, relative ai vari comandi.

A

B

C

D

E

F

T

V

X

Z

GLOSSARIO DEI TERMINI DI TECNICA ELETTRONICA PIÙ IMPIEGATI NELLA LINGUA INGLESE

A

"AC": Sigla derivata dalle iniziali dei termini "Alternating Current": sta per corrente alternata.

"AC coupling": Collegamento elettrico atto a trasferire da un circuito all'altro solo le componenti alternate di un segnale.

"AC signal": Segnale composto esclusivamente da componenti a corrente alternata.

"Accelerating anode": Elettrodo del tubo a raggi catodici cui è devoluto il compito di aumentare la velocità con cui gli elettroni, generati dal catodo, vanno ad urtare contro lo schermo fluorescente.

"Active probe": Sonda attiva, dotata cioè di un circuito di amplificazione.

"Adjustement jack": Terminale di connessione, presente sul pannello frontale degli oscilloscopi, che permette di alimentare, con un segnale ad onda quadra, le sonde in dotazione per procedere alla loro messa a punto o "compensazione".

"Alternate mode sweep": Modalità di lavoro degli oscilloscopi a doppio asse-tempi; essa prevede prima la scansione, su di una traccia, della forma d'onda in esame e, successivamente, la scansione, su di una traccia parallela e sottostante, del particolare della forma d'onda che si desidera analizzare in dettaglio.

"Alternating current": Corrente Alternata.

"Amplitude (peak-to-peak)": Ampiezza della deflessione verticale provocata sullo schermo dai canali della sezione verticale dell'oscilloscopio. Tale ampiezza espressa in volt od in divisioni di reticolo, nella tecnica oscilloscopica, viene generalmente riferita al valore picco-picco della forma d'onda.

"Amplitude Calibration": Taratura della sensibilità di deflessione dei canali della sezione verticale.

"Astigmatism": Astigmatismo. Termine ricavato dalle tecniche relative all'ottica; con questo termine si indica una imperfezione nella focalizzazione del pennello elettronico che provoca una diversa larghezza della traccia da un punto all'altro dello schermo.

"Attenuator, attenuation": Attenuatori, attenuazione; una certa attenuazione viene inserita all'ingresso dei canali verticali dell'oscilloscopio a mezzo di elementi di attenuazione, tarati ed a larga banda di lavoro, allo scopo di regolare la sensibilità di deflessione verticale.

"Auto-focus": Comando per la regolazione manuale della focalizzazione del pennello elettronico; tale grado di focalizzazione viene mantenuto automaticamente dai circuiti dell'oscilloscopio quale che sia la velocità di scansione utilizzata.

"Auto-intensity": Comando per la regolazione manuale della luminosità della traccia; tale luminosità, così prefissata, viene poi automaticamente mantenuta dai circuiti dell'oscilloscopio quale che sia la velocità di scansione utilizzata.

"Auto-triggering": Modalità di lavoro della sezione di trigger dell'oscilloscopio che prevede lo sganciamento automatico del punto di trigger sulla forma d'onda in esame.

B

"Band width": Larghezza di banda dei canali della sezione verticale o della sezione orizzontale dell'oscilloscopio.

"Beam finder": Comando che, riducendo opportunamente le sensibilità di deflessione verticale ed orizzontale dell'oscilloscopio, permette di localizzare la posizione della traccia sullo schermo e la conseguente facile successiva regolazione dei comandi che ne permettono il centraggio sul reticolo.

"Blanking": Termine con cui si indica lo spegnimento della traccia che viene effettuato sistematicamente durante i tempi morti della scansione e cioè la ritraccia ed il tempo cosiddetto di holdoff.

"BNC": Sigla con cui si indica il tipo di connettore coassiale generalmente più impiegato per il collegamento delle sonde ai terminali di ingresso dei canali verticali, orizzontali e di trigger sul pannello frontale dell'oscilloscopio.

"Burn resistence": Letteralmente "resistenza alla bruciatura"; con questa dicitura si indica la capacità dello schermo dell'oscilloscopio a dissipare la potenza generata all'atto dell'urto degli elettroni su di esso senza che si provochi una riduzione di luminosità nei "fosfori" relativi.

C

"Calibration": Taratura dei passi di sensibilità dei canali verticali o di quelli relativi al comando che regola la velocità di scansione dell'oscilloscopio. La taratura del sistema verticale, effettuata all'atto del collaudo di fabbrica,

comporta l'allineamento e la taratura "al critico" dei relativi stadi di amplificazione relativi ai canali.

"CRT": Sigla derivata dalle iniziali della dicitura "catode ray tube"; sta per tubo a raggi catodici.

"Catode ray tube": Vedi CRT.

"Chopped mode sweep": Modalità di lavoro della sezione orizzontale dell'oscilloscopio che prevede la scansione alternata in rapida successione di piccole porzioni delle forme d'onda da analizzare con i canali della sezione verticale.

"Common mode rejection ratio": Dicitura, indicata comunemente con la sigla CMRR, che indica la capacità di un canale verticale, operante in differenziale, ad amplificare in pratica solo i segnali che si presentano ai suoi terminali in opposizione di fase e con bilanciamento rispetto a massa.

"Compensation" (of prohes): Compensazione delle sonde; regolazione che consente alle sonde di traslare correttamente tutte le frequenze comprese nella propria banda di lavoro.

"Contrast": Contrasto nella visibilità delle tracce luminose che compaiono sullo schermo del tubo a raggi catodici.

"Control": Termine con cui vengono indicati i comandi relativi al funzionamento dell'oscilloscopio od in genere di uno strumento di misura.

"Coupling": Accoppiamento elettrico tra i circuiti sotto misura ed i circuiti dell'oscilloscopio od, in genere, di uno strumento di misura.

"Current probe": Sonda destinata al controllo dell'andamento di una corrente da analizzare all'oscilloscopio.

D

"Damped wave": Forma d'onda di andamento smorzato.

"DC": Sigla derivata dalle iniziali dei termini "Direct current"; sta per corrente continua.

"Decay time": Tempo di decadimento o di caduta del fronte di discesa di una forma d'onda.

"Deflection": Deflessione del pennello elettronico per effetto del campo elettrostatico generato dalle placchette che vengono disposte lungo il percorso del pennello elettronico.

"Deflection factor": Fattore di deflessione; indica il rapporto tra l'ampiezza del segnale all'ingresso del canale verticale dell'oscilloscopio e l'ampiezza della deflessione che esso provoca sullo schermo del tubo a raggi catodici.

"Delay line": Linea di ritardo.

"Delay time": Tempo di ritardo.

"Delayed sweep": Scansione ritardata.

"Delayed time-base": Asse tempi ritardato.

"Derived measurement": Misura derivata.

"Detent": Blocco meccanico di fine corsa; viene utilizzato sia per impedire che i comandi di regolazione fine di amplificazione o di scansione possano venire involontariamente ritoccati, come pure per assicurare una posizione stabile di fine corsa dei comandi stessi tale da garantire la taratura dei passi dei commutatori di sensibilità e scansione.

"Direct current": Corrente continua.

"Direct measurement": Misura diretta.

"Display": Visualizzazione sullo schermo dell'oscilloscopio.

"Divisions": Divisioni del reticolo.

"Dual channel Oscilloscope": Oscilloscopio a due canali.

"Dual Sweep (Dual time-base), oscilloscope": Oscilloscopio a doppia scansione, a doppio asse-tempi.

"Dual trace display": Visualizzazione di due tracce contemporanee sullo schermo dell'oscilloscopio.

"Duty cycle": Ciclo di utilizzazione.

"Duty factor": Fattore di utilizzazione.

E

"Electronic beam": Fascio di elettroni emesso da un catodo in un tubo termoionico.

"Electronic gun": Cannone elettronico; insieme di elettrodi atti a produrre, focalizzare e dirigere verso uno schermo il fascio di elettroni di un tubo a raggi catodici.

"Expansion": Espansione lungo l'asse orizzontale di una traccia oscilloscopica.

"External coupling": Accoppiamento dello strumento con un segnale esterno; viene utilizzato in particolare per impiegare sorgenti esterne di trigger.

F

"Fall time": Tempo di caduta di un fronte di discesa in una forma d'onda.

"Flicker effect": Sfarfallio di una traccia sullo schermo oscilloscopico; si verifica per segnali a basso tempo di ripetizione che provocano una insufficiente persistenza della traccia sullo schermo.

"Free run": Libero scorrimento senza sincronismo dovuto al comando di scansione generato da un punto di trigger scelto automaticamente.

"Free running trace": Traccia lineare di base che si presenta sullo schermo dell'oscilloscopio in assenza di segnale di ingresso; essa è dovuta ad una scansione ripetuta che viene provocata dalla triggherazione automatica dell'asse tempi (modalità di trigger "AUTO").

G

"Gain": Guadagno di uno stadio di amplificazione.

"GND": Sigla comunemente impiegata per designare la terra; deriva dall'abbreviazione del termine "ground".

"Graticule": Reticolo finemente tracciato su di una piastrina traslucida disposta davanti allo schermo dell'oscilloscopio o incisa sul lato, interno al tubo, dello schermo stesso.

"Ground": Terra o collegamento di terra.

H

"Handling (of probes)": Maneggio, modalità di inserzione delle sonde di un oscilloscopio.

"Horizontal-bandwidth": Larghezza di banda della sezione orizzontale di un oscilloscopio.

"Horizontal-position": Posizione orizzontale di una traccia sullo schermo di un oscilloscopio.
"Horizontal-section": Insieme di circuiti e comandi che, nell'oscilloscopio, provvede alla generazione ed alla triggherazione dei segnali destinati alla deflessione orizzontale.
"Holdoff time": Tempo di Holdoff; è un intervallo di tempo, dopo la ritraccia del pennello elettronico; durante il quale l'asse-tempi resta inattivo senza generare segnali di deflessione orizzontale.

I

"Impedance": Impedenza.
"Impulse width": Larghezza di un impulso.
"Input": Ingresso di uno stadio.
"Intensification": Intensificazione luminosa della traccia sullo schermo oscilloscopico.
"Inversion": Inversione della polarità di un segnale applicato ad uno dei canali dell'oscilloscopio.

J

"Jitter": Instabilità della traccia; generalmente si verifica in senso orizzontale in quanto è principalmente dovuta ad una instabilità dei punti o dei tempi di trigger.

L

"Level": Livello di un segnale.
"Line voltage": Tensione della rete di distribuzione di energia elettrica a corrente alternata.
"Lissajous figures": Figure caratteristiche scoperte dal fisico francese Lissajous che possono venire utilizzate per misure di frequenza e di fase.
"Load, loading": "Carico" o alterazione delle condizioni di lavoro di un circuito elettrico per effetto dell'inserzione ai capi di esso di un altro circuito.

M

"Magnification": Espansione in senso orizzontale di una traccia; viene ottenuta generalmente a mezzo di un aumento della amplificazione della sezione orizzontale o di una più veloce scansione dell'asse-tempi dell'oscilloscopio.
"Magnifier": Comando che consente l'espansione della traccia in senso orizzontale.
'Mode": Modalità di lavoro di una delle sezioni (verticale, orizzontale o di trigger), di un oscilloscopio.

N

"Noise": Rumore di fondo.
Nonlinearity": Andamento non lineare di una forma di onda.
"Notch-filter": Filtro passa-banda generalmente impiegato per ottenere marcaggi di frequenza lungo le curve di risposta ottenute mediante spazzolamento di frequenza.

O

"Output-coupling": Terminale di uscita di un circuito elettronico; accoppiamento del circuito di uscita di uno stadio verso i circuiti esterni di utilizzazione.
"Overshoot": Alterazione del fronte di salita di una forma d'onda che tende ad esaltare il livello al termine del fronte stesso.

P

"Parallax errors": Errori di parallasse nella lettura dei parametri di una forma d'onda tramite il reticolo. Se quest'ultimo è inciso sul lato interno dello schermo, detti errori di lettura restano praticamente eliminati.
"Passive probe": Sonda senza circuiti di amplificazione.
"Phase angle (phase shift)": Angolo o differenza di fase.
"Performance": Prestazione.
"Period": Periodo o intervallo di tempo necessario allo svolgimento dell'andamento ciclico di una forma d'onda.
"Persistence": Tendenza dei fosfori dello schermo di un tubo a raggi catodici a mantenere la luminosità provocata dall'incidenza degli elettroni del pennello elettronico.
"Post-accelerating, voltage, anode": Tensione od anodo di post-accelerazione di un tubo a raggi catodici.
"Plug-in oscilloscope": Oscilloscopio a cassetti.
"Probe, Probe impedance": Sonda, impedenza di ingresso di una sonda.
"Pulse, amplitude, width": Ampiezza, larghezza di un impulso.

R

"Ramp": Rampa di salita dell'andamento a denti di sega di una forma d'onda di scansione.
"Rectangular wave": Forma d'onda di andamento rettangolare.
"Repetition, time, rate": Tempo o rapporto di ripetizione dell'andamento di una forma d'onda.
"Responce": Risposta o curva di risposta.
"Retrace": Ritraccia o percorso di ritorno del pennello elettronico dall'estremo destro dello schermo all'inizio del lato sinistro.
"Ringing": Andamento oscillante del tetto di una forma d'onda che può verificarsi dopo un'esaltazione di livello (overshoot), al termine di un fronte di salita.
"Rise Time": Tempo di salita del fronte di salita di una forma d'onda.
"Rounding": Arrotondamento degli spigoli dell'andamento di una forma d'onda quadra o rettangolare.

S

"Safety rules": Norme di sicurezza antiinfortunistiche.
"Saw tooth wave": Forme d'onda a dente di sega.
"Scope": Oscilloscopio.
"Screen": Schermo dell'oscilloscopio.
"Setting time": Tempo di assestamento del tetto di una forma d'onda dopo un'esaltazione di livello al termine di un fronte di salita (overshoot), e conseguente andamento oscillante smorzato che può seguirne (Ringing).

"Sine wave": Forma d'onda sinusoidale.

"Single sweep or shoot": Singola scansione comandata anche manualmente per la visualizzazione di fenomeni transitori.

"Slope": Pendenza di una forma d'onda.

"Source": Sorgente di segnale.

"Speed": Velocità di scansione.

"Spot": Punto luminoso che si forma sullo schermo oscilloscopico in assenza di segnale alle placchette di deflessione.

"Square wave": Onda quadra.

"Step waveform": Forma d'onda "a gradino".

"Storage oscilloscope": Oscilloscopio a memoria.

"Subdivision": Suddivisioni del reticolo di cui è dotato lo schermo dell'oscilloscopio; esse permettono la precisa lettura delle ampiezze e dei tempi relativi ad una forma d'onda.

"Sweep": Scansione.

T

"Time-base": Asse-tempi o generatore della tensione di scansione orizzontale.

"Time-constant": Costante di tempo di un circuito.

"Trace": Traccia luminosa dovuta al percorso del pennello elettronico lungo lo schermo oscilloscopico.

"Trace rotation": Rotazione della traccia dovuta all'influenza di campi magnetici esterni all'oscilloscopio.

"Transducer": Transduttore.

"Transient": Transitorio.

"Transition": Brusca variazione nell'andamento di una forma d'onda.

"Trigger": Sincronismo.

"Trigger point": Punto della forma d'onda in corrispondenza del quale viene ricavato il livello di sincronismo.

"Triggering": Triggherazione, sincronizzazione.

"Triggering, level, slope": Livello di sincronismo, pendenza della forma d'onda da cui viene ricavato il livello di sincronismo.

U

"Unblanking": Comando o impulso o criterio di funzionamento con cui viene fatto cessare lo spegnimento della traccia.

"Undershoot": Esaltazione di livello in senso negativo che può verificarsi al termine del fronte di discesa di una forma d'onda.

V

"Vertical band width": Larghezza di banda dei canali della sezione verticale di un oscilloscopio.

"Vertical position": Posizione verticale della traccia sullo schermo oscilloscopico.

"Viewing hood": Schermo contro la luce diurna che viene applicato all'oscilloscopio per migliorare la visione di tracce poco luminose.

W

"Waveform": Forma d'onda.

X

"X axis": Asse X.

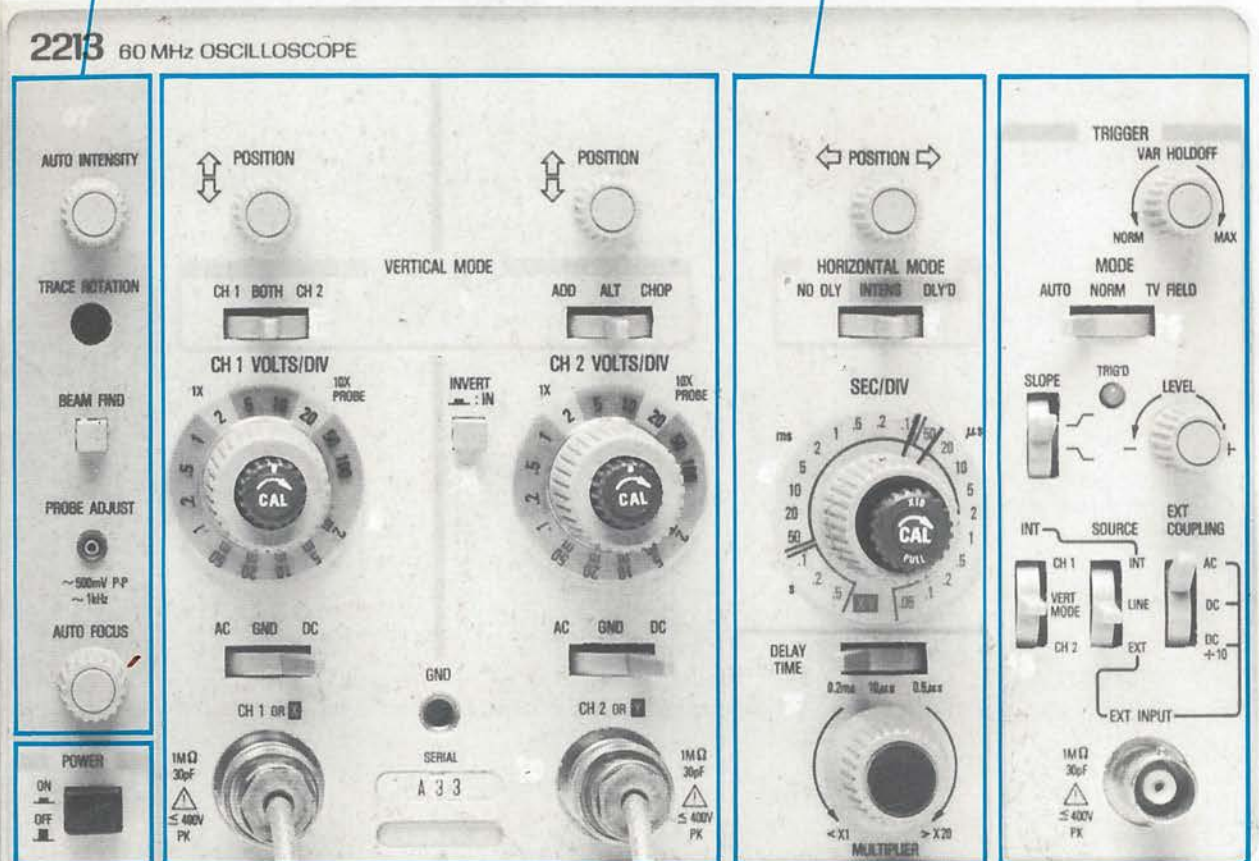
Y

"Y axis": Asse Y.

Z

"Z axis": Asse Z.

COMANDI
DELLA SEZIONE
DI VISUALIZZAZIONE

COMANDI
DELLA SEZIONE
ORIZZONTALE

ALIMENTAZIONE
DA RETE

COMANDI
DELLA SEZIONE
VERTICALE

COMANDI
DELLA SEZIONE
DI TRIGGER

Perchè un tecnico elettronico possa lavorare con buon rendimento, è necessario che le misure con l'oscilloscopio divengano una sua seconda natura ed, a questo fine, è indispensabile impegnarsi ad acquisire una serie di nozioni sull'oscilloscopio, sia su come funziona che su come può venire utilizzato.
A prima vista questo sembrerà forse uno studio troppo impegnativo, ma va considerato che potrà dimezzare addirittura l'impegno del tecnico nelle misure ed aumentare sensibilmente il suo rendimento nel lavoro.
La stesura di questo testo, d'altra parte, è stata curata in modo che il maggior numero di persone, con un minimo di cultura tecnica di base, possa imparare, circa gli oscilloscopi e le misure con gli oscilloscopi, quanto basta per impiegare questi strumenti di misura rapidamente e con tutta facilità e precisione.

L. 16.000

Cod. 705P ISBN 88-7056-129-1

72

IMPIEGO PRATICO DELL'OSCILLOSCOPIO

Chet Heyberger Marshall E.Prior